auna
Fundación

COLECCION / TECNOLOGIA 3

Tecnologías y actividades de estandarización para la interconexión de *Home Networks*

Anexo B:
Tecnologías para comunicación de datos y multimedia

Alcatel para Fundación AUNA

Tecnologías y actividades de estandarización para la interconexión de *Home Networks*

1	**Redes inalámbricas IEEE802.11**		4
	1.1.	Principios básicos	4
	1.2.	Estandarización de tecnologías WLAN	5
	1.3.	IEEE 802.11 B/A (WiFi): Estándar “de facto” para WLAN	5
	1.4.	Situación del mercado WLAN	10
	1.5.	Tendencias futuras	12
	1.6.	Aspectos regulatorios en WLAN	12
2	**WiMax**		14
	2.1.	Características técnicas	14
	2.2.	Aplicaciones de WiMax	15
	2.3.	Aspectos regulatorios	15
3	**IEEE1394 *Fireware***		17
	3.1.	Descripción técnica	17
	3.2.	Características básicas	18
	3.3.	Topología	18
	3.4.	Modos de funcionamiento	19
	3.5.	Estructura del protocolo	19
4	**USB *(European Home System)***		20
	4.1.	USB 2.0 frente a USB 1.1.	20
	4.2.	Arquitectura USB	21
5	***Bluetooth***		26
	5.1.	Ventajas de *Bluetooth*	26
	5.2.	Arquitectura y funcionamiento de *Bluetooth*	27
6	**IRDA *(Infrared Data Association)***		29
	6.1.	Descripción técnica	29
	6.2.	Protocolos IRDA	30

Tecnologías y actividades de estandarización para la interconexión de *Home Networks*

7	**PLC *(Power Line Communications)***		32
	7.1.	Características técnicas	32
	7.2.	Aplicación en casas unifamiliares o bloques de viviendas	33
	7.3.	Aspectos regulatorios	33
	7.4.	Estado comercial en España	34
8	**HomePlug**		35
	8.1.	Un poco de historia	35
	8.2.	Tecnología	35
	8.3.	Dispositivos comerciales	37
9	**HomePna *(Home Phoneline Networking Alliance)***		39
10	**HomeRRF**		40
11	**HiperLan 2**		41
	11.1.	Resumen técnico	41
	11.2.	Capa de convergencia	42
	11.3.	Capa DLC	42
	11.4.	Capa física	44
	11.5.	Comportamiento de enlace	46
12	***Ethernet***		47
	12.1.	Tecnología	47
	12.2.	Cableado estructurado *(Home Networking)*	47
	12.3.	Cableado *Ethernet*	47
13	**EFM *(Ethernet in the first mile)***		50
	13.1.	Características técnicas	50
	13.2.	Posicionamiento de suministradores y expectativas económicas de los dispositivos	50
14	**UWB *(Ultra Wideband)***		51

1. REDES INALÁMBRICAS IEEE 802.11

1.1. REDES INALÁMBRICAS IEEE802.11

Las comunicaciones digitales vía radio han estado en plena efervescencia durante los últimos años y han sido uno de los principales motores de la evolución del sector de las Telecomunicaciones. Basta recordar el impacto y la expectación (en algunos casos fallida) que tecnologías como GSM, DECT, LMDS, UMTS, han generado, para darnos cuenta del importante papel que la comunicación vía radio ha jugado en el reciente mundo de las telecomunicaciones. Actualmente, multitud de artículos de prensa nos hablan de una nueva tecnología de este tipo, las WLAN *(Wireless Local Area Networks),* que está generando un importante mercado de equipos y de servicios y que, según múltiples analistas, podría capturar un porcentaje significativo del mercado de acceso móvil de banda ancha que hasta ahora ha sido considerado como propio para UMTS.

■ Principios básicos

Una WLAN es simplemente una Red de Área Local interconectada de forma inalámbrica. Es decir WLAN es una red en la que una serie de dispositivos (PC, *workstations*, impresoras, servidores,..) se comunican entre si en zonas geográficas limitadas sin necesidad de tendido de cable entre ellos.

La gran ventaja de esta tecnología es que ofrece movilidad al usuario y requiere de una instalación muy sencilla. Es decir, una WLAN es una alternativa a una LAN cableada que nos permite estar moviéndonos por la empresa o salir a tomar el sol al campus universitario sin perder la conexión de nuestro portátil con *Internet* o con una base de datos actualizada instantáneamente.

Actualmente las WLAN se utilizan como redes autónomas de ordenadores o como complemento inalámbrico a redes cableadas ya existentes, ya que permiten ampliar dichas redes de forma muy sencilla. Entre los componentes que permiten configurar una WLAN podemos mencionar los siguientes:

- **Terminales de Usuario (Clientes)**

  Tarjeta Interfaz de Red (NIC) o Cliente, también conocida como Tarjeta Inalámbrica: Es una tarjeta, generalmente de tipo PCMCIA, que se instala en el ordenador portátil (o en cualquier otro terminal de red que queramos conectar). Incluye un transceptor radio y la antena. Este componente es imprescindible para configurar una WLAN. Existen asimismo clientes embebidos en portátiles (i.e. Intel Centrino TM)

- **Puntos de de Acceso *(Access Point)***

  El Punto de Acceso ó AP (típicamente dotado de una antena omni-direccional) es el "hub" que permite reenviar la información de la red cableada (por ejemplo Ethernet) hacia los NIC/Clientes. En algunas ocasiones una WLAN puede exigir el empleo de varios AP para garantizar la cobertura radio de todos los usuarios de la zona considerada. En otras ocasiones, algunas redes WLAN de topología muy sencilla y que trabajan de forma autónoma no necesitan utilizar AP, este tipo de redes se conocen como "ad-hoc".

- **Controlador de AP**

  Necesario para despliegues que requieren varios APs por razones de cobertura y/o tráfico. Suele incorporar funcionalidad de AP, de cliente VPN, de cliente RADIUS para labores de autentificar y autorizar con un servidor AAA apropiado (Autentificación, Autorización y Accounting), de *routing* y de *firewall*

Desde que en 1979 los ingenieros de IBM en Suiza realizaron los primeros experimentos de WLAN usando rayos infrarrojos para conectar ordenadores, la tecnología ha progresado considerablemente. Pero el mayor auge se ha producido en los últimos años, debido a la existencia de protocolos de comunicación estándar que definen la conexión vía radio entre los distintos nodos de la red WLAN. Estos estándares han permitido la disponibilidad en el mercado de Tarjetas Interfaz de Red (NIC) inalámbricas de muy bajo precio y fácilmente implementables en todo tipo de dispositivos (PC portátil, PDA, AP ..), así como de "chipsets" embebidos en portátiles.

A su vez, la existencia en el mercado de dichos dispositivos capaces de interconectarse de forma barata y sencilla ha dado origen a una gran variedad de aplicaciones que sobrepasan ampliamente el ámbito de utilización en entornos empresariales para el que nacieron las WLAN.

1.2. ESTANDARIZACIÓN DE TECNOLOGÍAS WLAN

Las redes WLAN cumplen con los estándares genéricos aplicables al mundo de las LAN cableadas (por ejemplo IEEE 802.3 o equivalentes) pero necesitan una normativa específica adicional que defina el uso de los recursos radioeléctricos. Estas normativas específicas definen de forma detallada los protocolos de la capa física (PHY) y de la capa de Control de Acceso al Medio (MAC) que regulan la conexión vía radio.

El primer estándar de WLAN lo generó el organismo IEEE (Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos) en 1997 y se denomina IEEE 802.11. Desde entonces varios organismos internacionales han desarrollado una amplia actividad en la estandarización de normativa de WLAN y han generado un abanico de nuevos estándares. En EEUU el grueso de la actividad lo mantiene el organismo IEEE con los estándares 802.11 y sus variantes (b, g, a, e, h,.) y en Europa el organismo relacionado es el ETSI con sus actividades en Hiperlan-LAN.

La Tabla B1, a continuación, muestra las características técnicas de las tres tecnologías WLAN originalmente mas significativas.

Tabla B1. Características de los estándares WLAN más significativos

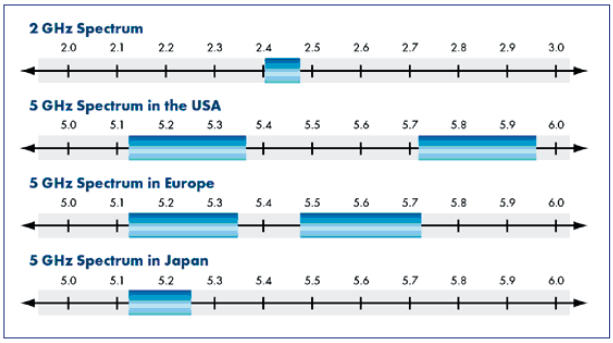
Estándar WLAN	IEEE 802.11b	IEEE 802.11a	HiperLAN2
Organismo	IEEE (USA)	IEEE (USA)	ETSI (Europa)
Fidelización	1999	2002	2003
Denominación	Wi-Fi	Wi-Fi	
Banda de Frecuencia	2,4 GHz ISM	5 GHz	5 GHz
Velocidad máxima	11 Mbps	54 Mbps	54 Mbps
Throughput medio	5,5 Mbps	36 Mbps	45 Mbps
Interfaz aire	SS-DS	OFDM	OFDM
Disponibilidad comercial	Gran cantidad de productos disponibles	Bastantes productos disponibles	Sin previsión importante de disponibilidad comercial

Es necesario mencionar que parte de la información transmitida en el aire es específica de la transmisión radio (cabeceras, codificación,..) y, por lo tanto, no forma parte de la capacidad útil para el usuario. Es decir, que los valores de velocidad máxima de 11 Mbps o de 54 Mbps no son equivalentes al concepto de velocidad aplicado en las redes LAN cableadas. En la Tabla B1 podemos ver el *"throughput"* de una red WLAN, que sería equivalente al de una red *Ethernet* cableada; como se observa, este *"throughput"* resulta ser sensiblemente inferior al considerado como velocidad máxima de cada tecnología.

IEEE 802.11b lideró los primeros desarrollos y su evolución, IEEE 802.11a, ya está plenamente implantada en el mercado. Aunque Hiperlan2 resuelve algunos problemas asociados con el 802.11a en temas vinculados con la robustez frente a interferencias y QOS (calidad de servicio), es un hecho constatado que ha perdido la carrera comercial con respecto a los otros protocolos debido a su retraso y economía para introducirse en el mercado.

La banda de frecuencia de 2,4 GHz es compartida por WLAN y por otras tecnologías (*Bluetooth* para redes PAN, HomeRF para *Home-Networking*, como hornos de microondas..), lo que incrementa la posibilidad de congestionar dicha banda. Para solventar esta problemática se decidió utilizar también la banda de 5 GHz para aplicaciones WLAN, aumentando el ancho de banda disponible y la capacidad de tráfico de forma considerable. La Figura B1 muestra el mapa de frecuencias para aplicaciones WLAN.

Figura B1. Mapa mundial de frecuencias WLAN (2002)



1.3. IEEE 802.11 B/A (WI-FI): ESTÁNDAR "DE FACTO" PARA WLAN

La denominación Wi-Fi *(Wireless-Fidelity)* aplicada inicialmente al protocolo inalámbrico IEEE 802.11b significa que, vía radio, mantiene con fidelidad las características de un enlace *Ethernet* cableado. Por extensión se conoce como WiFi 5 al protocolo IEEE 802.11a, que es el nuevo estándar de la misma familia para la banda de 5 GHz. Dado que estos protocolos Wi-Fi ya están implementados en múltiples productos comerciales podemos considerar que se han convertido en el estándar "de facto" para las aplicaciones WLAN, en detrimento del estándar Hiperlan2 del ETSI.

A continuación se describen algunos aspectos de interés relacionados con los protocolos Wi-Fi.

■ Topología de Red

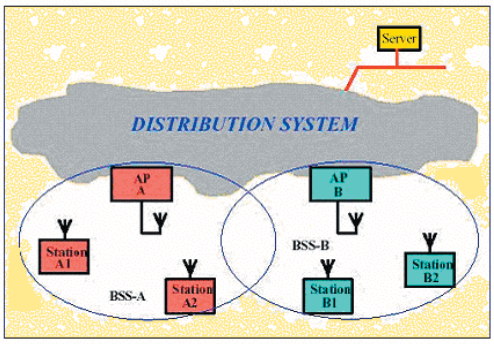
Como en la mayoría de redes LAN, en las redes WLAN podemos encontrar dos tipos de topología: Red *Ad-Hoc* y Red Modo Infraestructura.

Una red *"Ad Hoc"* consiste en un grupo de ordenadores que se comunican cada uno directamente con los otros a través de las señales de radio sin usar un punto de acceso. Los ordenadores de la red inalámbrica que quieren comunicarse entre ellos necesitan usar el mismo canal radio y configurar un identificador específico de WiFi (denominado ESSID) en "Modo *Ad Hoc"*.

Se conoce como configuración "Modo Infraestructura" a la forma típica de trabajar cuando se utilizan Puntos de Acceso (AP). Si queremos conectar nuestra tarjeta o portatil Wi-Fi a uno de ellos, debemos configurarlos para trabajar en este modo de trabajo. Es mas eficaz que la red Ad-Hoc, en la que los paquetes "se lanzan al aire, con la esperanza de que lleguen al destino..", mientras que el Modo Infraestructura gestiona y se encarga de llevar cada paquete a su sitio mejorando, además, la velocidad. En el Modo Infraestructura la tarjeta de red ó portatil WiFi se configura automáticamente para usar el mismo canal radio que usa el punto de acceso más adecuado (normalmente el mas cercano).

La Figura B2 muestra la topología de dos redes WLAN en Modo Infraestructura conectadas a un mismo Servidor. El Modo Infraestructura es el que se utiliza cuando se quiere conectar una red WLAN a una red cableada.

Figura B2. Topología de red con Puntos de Acceso (AP)



■ Características Técnicas

Las características técnicas de los protocolos IEEE.802.11 se reflejan en la Tabla B2:

Tabla B2. Características de los principales estándares IEEE 802.11

Estándar	IEEE 802.11	IEEE 802.11b	IEEE 802.11g	IEEE 802.11a	IEEE 802.11h	IEEE 802.11n
Finalización	1997	1999	2003	2002	2003	2005
Frecuencia	2,4 GHz ISM	2,4 GHz ISM	2,4 GHz ISM	5 GHz	5 GHz	2,4/5 GHz
Velocidad	2 Mbps	11 Mbps	11/54 Mbps	54 Mbps	54 Mbps	100 Mbps
Interfaz aire	SS-FH/ SS-DS	SS-DS	SS-DS/ OFDM	OFDM	OFDM	OFDM
Otros aspectos	Superado por IEEE 802.11b	Disponible en el mercado	Disponible en el mercado	Disponible en el mercado	DCS Power control	Compatibilidad hacia atrás

- IEEE 802.11: Fue el primer estándar disponible y permite dos variantes para el interfaz aire: DS-SS *(Direct Sequence Spread Spectrum* y FH-SS *(Frequency Hopped Spread Spectrum)*. La capacidad alcanzada es de 1 / 2 Mbps (según fabricante).

- IEEE 802.11b es el estándar que lideró los primeros desarrollos masivos de WLAN. Emplea solamente DS-SS y utiliza modulación con forma de onda CCK *(Complimentary Code Keying)* lo que permite alcanzar hasta 11 Mbps de velocidad.

- IEEE 802.11a, es una evolución del 802.11b, opera en la banda de 5 GHz y ofrece una capacidad de hasta 54 Mbit/s. El interfaz aire utiliza multiplexación OFDM *(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)*.

- IEEE 802.11g, con multiplexación OFDM permite hasta 54 Mbps de capacidad máxima en la banda de 2.4 Ghz. Permite interoperabilidad con IEEE 802.11b utilizando un interfaz aire SS-DS y ofreciendo hasta 11 Mbps de capacidad.

- IEEE 802.11h es una evolución del IEEE 802.11a que permite asignación dinámica de canales y control automático de potencia para minimizar los efectos interferentes. Está disponible desde el año 2003 y los productos están empezando a aparecer en el mercado en estos momentos.

- IEEE 802.11n, diseñado para aumentar la capacidad efectiva de transmisión hasta 100 Mbps, siendo com-

patible con los estándares anteriores. La finalización del estándar está prevista para finales de 2005,

Además de estos, existen otros estándares IEEE 802.11 que, sin afectar al interfaz aire (modulación, velocidad, etc.), se han definido (o están a punto de finalizar su definición) con el objetivo de mejorar determinadas prestaciones, entre ellos:

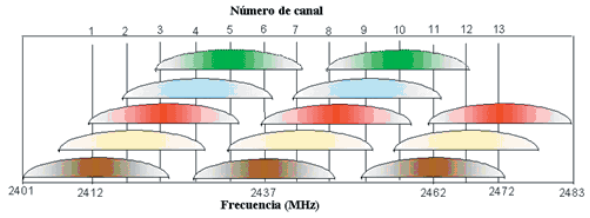
- IEEE 802.1x. Estándar ya finalizado con disponibilidad de productos desde el año 2003 y que mejora las prestaciones de seguridad (mecanismos de autentificación y autorización).

- IEEE 802.11i. Estándar ya finalizado con disponibilidad de productos esperada para finales de 2004, también destinado a mejorar las prestaciones de seguridad y cifrado.

- IEEE 802.11e, diseñado para el soporte multimedia mejorado, garantizando la calidad de servicio (QoS) en comunicaciones de gran ancho de banda y tiempo real (p.e. vídeo). La finalización del estándar está prevista para finales de 2004.

La capa física (PHY) de los estándares IEEE 802.11 se diseñó para cumplir con la regulación de radio frecuencia del FCC (organismo federal EEUU). Las mismas bandas de frecuencia, con algunas variantes, se utilizan en el resto del mundo. La Figura B3 muestra el espectro de la banda de 2.4 GHz en Europa, donde se puede disponer de todos los canales (de 22 MHz cada uno).

Figura B3. Banda 2.4 GHz en Europa

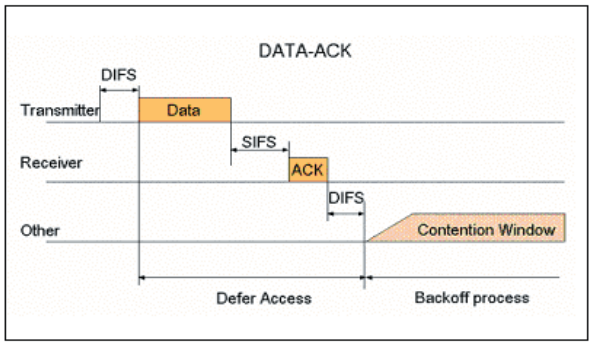


Con respecto a la capa MAC (Control de Acceso al Medio) podemos mencionar que los estándares IEEE 802.11 utilizan dos posibles mecanismo de acceso:

- **CSMA/CA** *(Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance)* en el que cada estación escucha a otros usuarios *(Carrier Sense)* y si el canal esta sin usar la estación está autorizada a transmitir *(Collision Avoidance)*. Pero si está ocupada, cada estación espera hasta que la transmisión presente finalice, y después entra en un procedimiento de *"random back"*. Esto previene que múltiples estaciones intenten obtener el medio inmediatamente después de completarse la transmisión precedente.

El proceso de transmisión es el siguiente, si el medio ha estado libre durante un intervalo de tiempo (DIFS) entonces se transmite el paquete de datos. Una vez recibido, el receptor enviará una confirmación de recepción (ACK). La Figura B4 presenta este protocolo.

Figura B4. Protocolo CSMA/CA



Si el transmisor ha encontrado el medio ocupado, espera a que se acabe la transmisión actual y, cuando vuelva a intentar transmitir tendrá que esperar el tiempo DIFS, más un tiempo de contención (back-off) seudoaleatorio.

- **RTS/CTS** *(Request to Send/Clear to Send)*: Es un procedimiento opcional en el que el terminal que quiera transmitir tiene que enviar al Punto de Acceso una solicitud de envío *(Request To Send)* a la que el Punto de Acceso accede *(Clear To Send)* a la transmisión. De esta manera se soluciona el problema del "nodo oculto" en el que dos transmisores separados no detectan las transmisiones de terminales distantes y los paquetes llegan degradados al Punto de Acceso. En este caso el punto de acceso coordina el tráfico WLAN al ser el encargado de dar los permisos de transmisión.

■ Capacidad compartida y entornos multicelda

Como ya hemos visto anteriormente el *"throughput"* medio de una red WLAN es sensiblemente inferior a la cantidad indicada como velocidad máxima de la tecnología. Esto se debe a que parte de la información transmitida

se consume en cabeceras radio o en funciones de codificación de canal. Adicionalmente, la distancia existente entre el terminal y el Punto de Acceso o la existencia de interferencias disminuirán aún más la capacidad práctica transmitida. En una red WLAN la capacidad se configura, por defecto, en modo automático, para que se regule en función de la calidad del enlace vía radio.

Además, la capacidad mencionada debe ser compartida por los distintos usuarios que comparten un mismo Punto de Acceso. Cuando la capacidad resultante para cada usuario no es suficiente para la aplicación requerida es necesario incrementar el número de Puntos de Acceso en una misma celda (utilizando diferentes canales radio) y así permitir mayores densidades de tráfico.

Para evitar el solapamiento entre canales, cuando dos equipos transmiten en el mismo emplazamiento, la norma IEEE 802.11 indica que se debe dejar una separación entre las frecuencias centrales de los canales mayor es 22 MHz. Esta condición significa que, en la banda de 2.4 GHz, hasta 3 Puntos de Acceso pueden coexistir en una misma celda (se suelen emplear los canales 1, 6 y 11 -ver Figura B3-). La banda de 5 GHz (IEEE 802.11a) permite la utilización de hasta 8 Puntos de Acceso coexistiendo en la misma celda. La utilización de dispositivos de banda dual 802.11a + 802.11b permitiría la instalación de hasta 11 Puntos de Acceso en la misma celda sin solapamiento de frecuencia.

El dimensionado del número de Puntos de Acceso de una red debe garantizar el tráfico en el área considerada pero también la cobertura radioeléctrica. En muchas ocasiones la presencia de obstáculos obliga al despliegue de entornos multicelda para garantizar la cobertura del área deseada.

El alcance de estas tecnologías está íntimamente relacionado con las antenas utilizadas y con el entorno de propagación (interior, exterior, obstáculos, …). Dependiendo de la frecuencia y del número de obstáculos se considera que en aplicaciones de interior (potencia 20 dBm) el alcance típico del 802.11 varía entre 45 y 100 m; sin embargo, en aplicaciones de exterior (potencia 30 dBm) y en función de la ganancia de las antenas terminales, este alcance puede ser superado ampliamente.

■ Seguridad en IEEE 802.11

La seguridad es uno de los aspectos esenciales para la aceptación de las WLAN por usuarios empresariales o para aplicaciones públicas. Como todas las tecnologías vía radio, las WLAN no se pueden confinar dentro de los muros de un edificio, por lo que deben extremarse las medidas de seguridad, ya que en caso contrario se abriría la red LAN a todo el que, con una tarjeta WLAN y una antena direccional, quiera conectarse.

El protocolo IEEE 802.11 provee seguridad mediante dos atributos: autentificación y cifrado ó criptografía.

Autentificación (verificar que una entidad, en este caso un cliente-terminal, es realmente quien dice ser) es siempre un paso previo para autorizar a este cliente a comunicarse con otro o con el Punto de Acceso en el area de cobertura.

Existen diferentes opciones para realizar el proceso de autentificación. Para las topologías en Modo Infraestructura, la autentificación se resuelve mediante un diálogo entre el cliente y el Punto de Acceso. Los Puntos de Acceso IEEE 802.11 vienen, por defecto, equipados con capacidad de cifrar según el algoritmo WEP, el cual se utiliza también como base del proceso de autentificación. El algoritmo WEP *(Wired Equivalent Privacy)* permite que la encriptación se ajuste a 256 bits, 128 bits, 64 bits o deshabilitada. Cuanto más alto es este dato, supuestamente la comunicación es más segura, a costa de perder rendimiento en la red.

Sin embargo, en el mundo de la criptografía se sabe que, cualquiera que sea la longitud de la clave, siempre hay formas de descifrar los mensajes y, por lo tanto, es conveniente cambiar las claves frecuentemente. Algunos fabricantes han desarrollado extensiones propietarias de las normas de seguridad (sobre 802.11) para implementar el cambio de claves periódicamente pero el inconveniente es que todos los dispositivos de la red WLAN deben ser suministrados en ese caso por el mismo fabricante.

La tendencia mas reciente es, sin embargo, emplear los estándares 802.1x y 802.11i como bases sólidas del mecanismo de autentificación y autorización.

Estos atributos de seguridad que se han descrito operan a nivel físico y de enlace. Pero existen otras vías de añadir mas seguridad al sistema WLAN a otros niveles, tales como jugar con las direcciones MAC de los clientes (nivel 2), construir VPNs entre el cliente y el servidor correspondiente (nivel 3) o incluso añadir seguridad a niveles mas altos (utilización de ssl, http, etc.), con lo que en la práctica puede decirse que la parcela de seguridad está suficientemente consolidada.

■ *Roaming* entre Puntos de Acceso: Estándar preliminar IEEE 802.11f

Los estándares mencionados hasta ahora permiten la conexión de los terminales dentro de una misma sub-red IP. Hasta ahora, si queríamos movernos sobre diferentes sub-redes IP debíamos utilizar soluciones de un mismo fabricante. El IEEE ha desarrollado un estándar que define la intercomunicación entre Puntos de Acceso de distintos fabricantes (facilitando el *roaming*): el IEEE 802.11f.

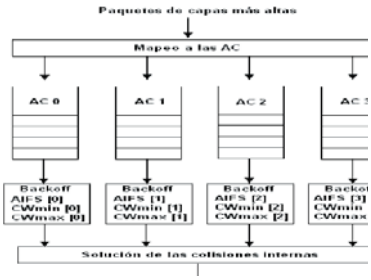
Entre otros temas la norma define el registro de un Punto de Acceso dentro de una red y el intercambio de información cuando un usuario se mueve por una zona cubierta por APs de diferentes fabricantes.

■ Estándar IEEE 802.11e (QoS)

El objetivo del nuevo estándar 802.11e es proporcionar nuevos mecanismos para soportar los servicios que requieren garantías de Calidad de Servicio. Para cumplir con su objetivo IEEE 802.11e introduce un nuevo elemento llamado *Hybrid Coordination Function* (HCF) que incorpora al *Enhanced Distributed Channel Access* (EDCA).

El mecanismo DCF *(Distributed Coordination Function)* del estándar IEEE 802.11, es simple y fácil de implementar pero no aporta ninguna posibilidad de priorizar diferentes tipos de tráfico. En El DCF todas estaciones tienen la misma probabilidad de acceder al canal. Por eso, el IETF ha propuesto una nueva variante del estándar (IEEE 802.11e) en el que modo DCF ha sido mejorado dando lugar al denominado EDCA. Este nuevo estándar ofrece mecanismos para soportar prioridades para diferentes tipos de tráficos. El mecanismo EDCA, como evolución del IEEE 802.11 DCF, incluye todos los elementos básicos de DCF como CSMA/CA, mecanismo de *backoff* o IFS *(inter Frame Space)* y los complementa con otros nuevos que permiten introducir calidad de servicio en el sistema como son TXOP o AIFS. La calidad de servicio en el mecanismo EDCA está asociada al concepto de Categoría de Acceso (AC). Cada categoría de acceso se corresponde a una prioridad distinta, caracterizada por un grupo de parámetros de contención y su propio mecanismo de *backoff.* Las cuatro categorías de acceso definidas en el estándar con sus colas de transmisión y los diferentes parámetros que las caracterizan se presentan en la Figura B5.

Figura B5. Cuatro AC dentro de una estación IEEE 802.11e



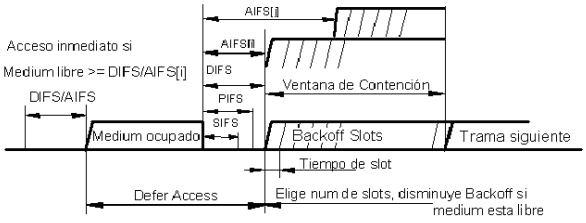
En caso de que más de una categoría de acceso (AC) acabe el mecanismo de *backoff* en el mismo instante, la categoría con la prioridad más alta empieza a transmitir y las otras se comportan como si hubiera habido una colisión al acceder al medio. La diferenciación entre prioridades se consigue con el empleo de distintos valores de los parámetros de contención, presentados a continuación.

- *Arbitration Interframe Space* (AIFS) su tarea es parecida al intérvalo DIFS usado en DCF. La prioridad más alta se corresponde con el valor más pequeño. De hecho, el estándar fija que la prioridad más alta corresponde a un tiempo de AIFS[AC] igual a DIFS, lo que implica que AIFSN [AC] >= 2.

- El tamaño de la ventana de contención está definido por dos parámetros CWmin[AC] y CWmax[AC]. El aumento de la prioridad se consigue con la disminución de los valores de dichos parámetros.

Cada estación recibe los parámetros de contención en la trama de referencia ó "beacon". Los parámetros pueden ser ajustados dinámicamente por el Punto de Acceso ó *Acces Point* (AP) dependiendo de las condiciones de la red. Los diferentes tiempos de acceso definidos se muestran en la Figura B6.

Figura B6. Acceso al medio en IEEE 802.11 EDCA



En el mecanismo DCF una estación sólo puede transmitir un paquete al acceder al canal, por el contrario en el mecanismo EDCA la duración de la transmisión se controla mediante un parámetro llamado *Transmission Opportunity* (TXOP). El TXOP es el intervalo definido por el tiempo de inicio y la duración (TXOPLimit[AC]) durante la cual la estación (una de su AC) puede transmitir paquetes (MSDUs) separados por el tiempo SIFS. Este parámetro permite aumentar el caudal (throughput) del sistema mediante una asignación adecuada de la porción de capacidad del canal para cada *Access Category* (AC). Cuanto mayor es el parámetro TXOPLimit[AC], mayor es la porción del canal asignada a esta AC. Además el IEEE 802.11e también especifica el tiempo máximo que un paquete puede estar en la capa MAC. Si se sobrepasa este tiempo, el paquete se descarta sin transmitirlo. Esta propiedad es muy importante para las aplicaciones en tiempo real donde la transmisión demasiado tarde es inútil.

En resumen, el mecanismo EDCA permite controlar mejor el canal porque a las estaciones no se les permite transmitir paquetes si no pueden acabar la transmisión antes de la llegada de la trama de beacon (TBTT).

1.4. SITUACIÓN DEL MERCADO WLAN

En 1999 se creó una organización internacional sin ánimo de lucro denominada *Wi-Fi Alliance* (WECA) que desde entonces certifica la interoperabilidad de productos de distintos fabricantes basados en la especificación 802.11. Esta certificación garantiza que productos de distintos fabricantes son capaces de comunicarse entre sí.

Existen en el mercado una gran variedad de dispositivos: Puntos de Acceso (AP), NIC inalambricos, Portatiles con Wi-Fi integrado, Pocket PCs Wi-Fi, Servidores inalámbricos,etc. La Figura B7 muestra algunos de estos dispositivos.

Figura B7. Punto de Acceso, Tarjeta PCMCIA , Wireless PDA y Tarjeta Compact Flash

Las tarjetas NIC mas comunes son las que vienen en formato PCMCIA, para portátiles, aunque también las hay en formato PCI, en CompactFlash, *Smart Card* y similares. Son equivalentes a una tarjeta de red normal, sólo que sin cables. Su configuración a nivel de IP es igual que una *Ethernet.*

Las tarjetas para portátiles o PDAs están a la venta por precios muy inferiores a los 100€, y muchos fabricantes ofrecen PCs y PDAs con el interfaz WLAN integrado.

Aplicaciones WLAN: Más allá del uso en redes empresariales

Originalmente las redes WLAN fueron diseñadas para su empleo en redes empresariales. En este tipo de aplicaciones una sub-red WLAN, compuesta por varios Puntos de Acceso inalámbricos, se conecta a una red cableada que nos permite acceder a todos los servicios disponibles en la empresa.

Pero en actualidad las redes WLAN han encontrado una gran variedad de nuevos escenarios de aplicación tanto en el ámbito residencial como en entornos públicos:

- Escenario Residencial: Una línea telefónica terminada en un router ADSL al cual se conecta un AP para formar una red WLAN que ofrece cobertura a varios ordenadores y dispositivos multimedia en el hogar.

- Redes Corporativas: Una serie de Puntos de Acceso distribuidos en varios áreas de la empresa conforman una red WLAN autónoma o complementan a una LAN cableada. Son aplicaciones de alta densidad tráfico con altas exigencias de seguridad.

- Acceso público a *Internet* desde cafeterías, tiendas. En estos establecimientos se ofrece a los clientes una tarjeta inalámbrica (NIC) que permiten acceso a *Internet* desde sus propios portátiles. Es un escenario de acceso, involucrando un bajo número de Puntos de Acceso, parecido al residencial, pero que necesita mayores funcionalidades en el núcleo de red (AAA, *billing*, ..).

- Acceso público de banda ancha en pequeños pueblos, hoteles, campus universitarios,... En general este escenario necesita múltiples Puntos de Acceso para garantizar la cobertura del área considerada.

  Es necesario distinguir entre las redes sin ánimo de lucro (redes libres) que ofrecen un servicio gratuito a

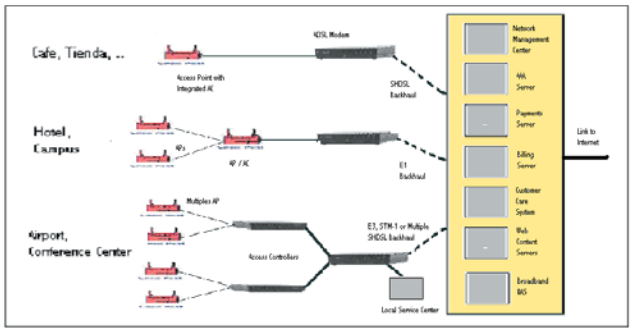
una comunidad y las redes que ofrecen servicios de pago a clientes que residen o transitan por la zona de cobertura.

- WLAN para cobertura de *"Hot Spots"* (escenario público). Estas redes cubren áreas donde se concentra un gran número de usuarios de alto tráfico como son aeropuertos, estaciones de ferrocarril, centros de congresos, … La red a instalar requiere un elevado número de Puntos de Acceso así como importantes exigencias de seguridad, gestión de red, facilidades de facturación, etc …

- Acceso a *Internet* desde medios públicos de transporte. Se está convirtiendo en un tema de actualidad el hecho de que compañías ferroviarias quieran ofrecer acceso de banda ancha desde sus trenes en movimiento, o compañías aéreas (p.e. Lufthansa) que ofrecen acceso a *Internet* desde sus vuelos intercontinentales, o varias ciudades que disponen de taxis que incorporan una pantalla integrada en el asiento que permite acceder a *Internet* de banda ancha. En el caso de Lufthansa la solución está basada en un acceso Wi-Fi en el interior del avión que termina un enlace vía satélite con la red *Internet*. En las otras dos aplicaciones Wi-Fi forma parte tanto de la red de acceso (en el interior del vehículo) como de la solución de transporte hacia la red fija.

La Figura B8 muestra la infraestructura de red necesaria para un operador que quiera ofrecer todo este tipo de aplicaciones.

Figura B8. Arquitectura de Red para oferta de distintos tipos de aplicaciones



Las primeras aplicaciones públicas de WLAN se instalaron en campus universitarios y son del tipo "redes libres" sin ánimo de lucro. Este concepto se ha extendido a la oferta de servicios en pueblos o pequeñas ciudades gestionados directamente desde sus ayuntamientos.

Cuando las redes públicas son del tipo de pago por servicios siempre hay un operador de telecomunicaciones detrás de su gestión. Actualmente existen varios tipos de operadores actuando en el sector WLAN:

- Operadores "Wíreless ISP" que ofrecen cobertura local de banda ancha en pueblos o en pequeñas ciudades utilizando WLAN. Este servicio está bastante extendido en USA.

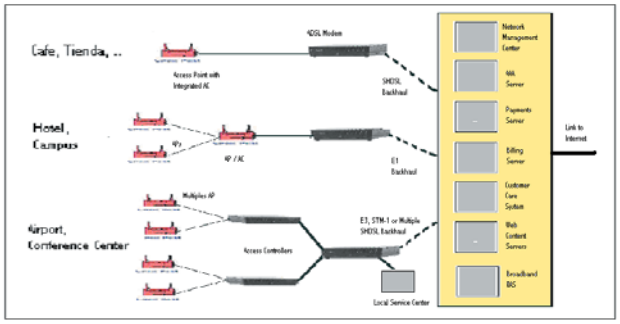
- Operadores "Wíreless ISP" que ofrecen cobertura nacional (e.g., Wayport, MobileStar,…) en los puntos de alta densidad de trafico conocidos como "hot spots" (aeropuertos, estaciones, hoteles, ….) utilizando WLAN.

Operadores móviles que complementan su oferta de movilidad global con cobertura WLAN en "*hot spots"*. Esta actuación es debida a dos factores: de un lado evitar que los operadores WLAN anteriores, que ofrecen la cobertura de *"Hot Spots"* a nivel nacional, capten un porcentaje importante del mercado de servicios de UMTS. De otro lado capitalizar su infraestructura de red dado que ya poseen muchos activos necesarios para las redes WLAN tales como plataformas de autentificación, de gestión de red y de servicio, de facturación, etc.

Analysys Research estima que en Europa habrá en el año 2006 más de 20 millones de usuarios de redes WLAN públicas generando más de 3000 Millones de Euros de ingresos para sus operadores. Este analista considera que el 10% de los usuarios de redes móviles serán también usuarios de redes WLAN y que los operadores móviles perderán más del 10% de sus ingresos por la competencia de esta tecnología por lo que les recomienda que complementen sus redes con tecnología WLAN.

Un estudio posterior realizado por *Strategy Analytics* reduce el tamaño del mercado para WLAN públicas y considera que su impacto sobre el negocio de los operadores móviles no será tan importante como presupone Analysys, pero también aconseja a estos operadores que desplieguen redes WLAN para minimizar dichas perdidas. La Figura B9 muestra la estimación del mercado mundial para las aplicaciones públicas de las WLAN realizada por *Strategy Analytics*.

Figura B9. Mercado mundial para aplicaciones públicas WLAN *(Strategy Analytics)*



El estudio de *Strategy Analytics* considera que actualmente se está llegando a un proceso de consolidación de los operadores WLAN del que sobrevivirá un pequeño número final de operadores con acuerdos de *"roaming*" entre ellos. En esta fase también se añadirán servicios WLAN a la oferta de la mayoría de los operadores móviles produciéndose un complemento ideal de conectividad global a nivel nacional con cobertura de banda ancha en todos los puntos de alta densidad de tráfico *(hot spots)*.

1.5. TENDENCIAS FUTURAS

Distintos organismos (WECA, IEEE, ETSI, ..) han continuado trabajando en la búsqueda de soluciones para mejorar algunas de las limitaciones iniciales de la tecnología. Su actividad garantiza que los aspectos de seguridad y *"roaming"* quedan plenamente resueltos desde la infraestructura de red.

En el ámbito tecnológico ya se dispone de Puntos de Acceso duales (802.11a y 802.11b) y de nuevos NIC para PDAs y Tablet PCs optimizados para minimizar efectos interferentes y maximizar la movilidad. Asimismo se mejorará a lo largo del tiempo y de forma drástica el consumo de estos dispositivos inalámbricos (especialmente en soluciones portátiles) que es una de las principales exigencias para garantizar el éxito de las redes WLAN.

En cuanto a aplicaciones seremos testigos de la consolidación de operadores WLAN para *Hot Spots* así como de la implantación de la tecnología en los medios públicos de transporte. No será extraño tener una conexión de banda ancha a *Internet* desde un avión, desde un tren o desde un barco y la tecnología WLAN estará de alguna forma presente en la solución.

1.6. ASPECTOS REGULATORIOS EN WLAN

Desde Alcatel entendemos que no existe ningún problema desde el punto de vista regulatorio para poder utilizar la banda no licenciada de 5 GHz en España. El Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencia (CNAF), así lo determina en su nota de utilización UN-128 (se incluye mas abajo en esta sección). Según dicha nota, ya se puede utilizar la banda de 5GHz para aplicaciones WLAN WiFi, que en función de que dispongan de TPC y DFS podrán funcionar con límites distintos de potencia.

Lógicamente nuestra posición es que se utilicen dispositivos WiFi que operen en la banda de 5 GHz (ya que se dispone de mas canales, hay menos fuentes de interferencia y con la opción DFS se puede saltar de manera automática de un canal a otro para librarse de las interferencias o perturbaciones en caso de ser necesario-) y que cumplan simultáneamente 802.11h (es decir con TPC y DFS para poder emitir los 200 mW) y 802.11e (para poder tener QoS, necesario para aplicaciones 3PIP), y consecuentemente son esta clase de dispositivos WiFi los que se consideran para la valoración tecno-económica de escenarios.

Una vez habilitada la banda de 5 GHz mediante la UN-128, a un operador tan solo le restaría notificar (solo una vez) a la CMT que va a operar la redes privadas de sus clientes (pero sin necesidad de solicitar ningún titulo habilitante adicional: es suficiente con lo que ya disponga dicho operador). Al redactar contratos individuales con cada cliente, este debe aceptar ajustarse a un esquema de relaciones con el operador mutuamente acordado (por ejemplo, el operador percibe ingresos por las redes de cliente, y es responsable de la operación, mantenimiento y asistencia técnica).

UN-128Redes de área local de altas prestaciones en la banda de 5 GHz.

Las bandas de frecuencia indicadas seguidamente podrán ser utilizadas por el servicio móvil en redes de área local de altas prestaciones, de conformidad con las condiciones que se indican a continuación.

Banda 5150 - 5350 MHz: En esta banda el uso por el servicio móvil en redes de área local se restringe para su utilización únicamente en el interior de recintos y las características técnicas deben ajustarse a las indicadas en la tabla adjunta en el caso que sea de aplicación en función

de la subbanda utilizada y de las modalidades técnicas contempladas en la misma.

Tabla con las condiciones técnicas de utilización:

	POTENCIA (p.i.r.e.) (*)		
Banda (MHz)	Sistemas sin TPC	Sistemas con TPC	Sistemas con TPC y con DFS
5150-5250 (**)	30 mW	120 Mw	200 mW
5250-5350 (**)	60 mW con DFS	200 Mw con DFS	200 mW

Las utilizaciones indicadas anteriormente se consideran de uso común. El uso común no garantiza la protección frente a otras utilizaciones ni puede causar perturbaciones a servicios existentes legalmente autorizados.

El significado atribuido a los términos y símbolos utilizados en esta tabla es el siguiente:

(*) se refiere a la potencia (p.i.r.e) promediada sobre una ráfaga de transmisión ajustada a la máxima potencia.

(**) en estas bandas, la densidad espectral de p.i.r.e. media no ha de exceder de 0,04 mW/4 kHz medida en cualquier ancho de banda de 4 kHz.

TPC: se refiere a sistemas que dispongan de control de potencia transmitida

DFS: se refiere a sistemas que dispongan de selección dinámica de frecuencia de acuerdo a la Recomendación UIT-R M.1652 sobre sistemas de acceso radio incluyendo RLAN en 5 GHz.

Banda 5470 - 5725 MHz: Esta banda puede ser utilizada para redes de área local en el interior o exterior de recintos con potencia inferior o igual a 1 W (p.i.r.e.). Estos sistemas deberán disponer de técnicas de control de potencia (TPC) y selección dinámica de frecuencia (DFS) de acuerdo a las especificaciones de la Recomendación UIT-R M.1652 sobre sistemas de acceso radio incluyendo RLAN en la banda de 5 GHz.

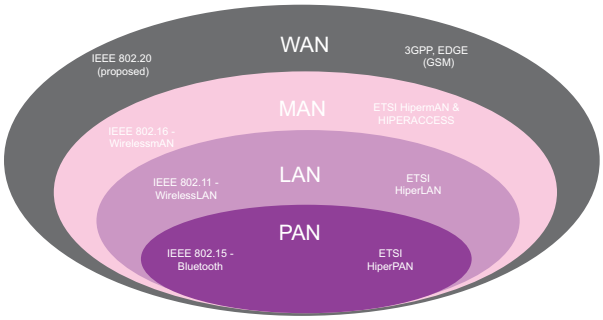
Estas instalaciones de redes de área local tienen la consideración de uso común

2. WIMAX

WiMax (www.wimaxforum.org) es un consorcio de compañías (mas de 90 en la actualidad y creciendo) cuyo objetivo es garantizar la interoperabilidad de dispositivos generados al amparo de los estándares de radio de ámbito metropolitano (MAN) IEEE 802.16* y ETSI HiperMAN. El consorcio está formado por grandes proveedores de servicio (BT,FT,..), suministradores (*Siemens*, *Nokia*, *Alcatel*, *SR Telecom*, *Alvarion*), starts ups (WiLAN, *Aperto Networks*, *Navini*, ..) y proveedores de *chip-sets* (*Fujitsu, Intel*). Aseguran esta interoperabilidad (sello WiMax), mediante la producción de especificaciones de prueba, planes de prueba, definición de perfiles de sistema y declaraciones de conformidad.

De las distintas opciones contempladas en el paraguas de los estándares IEEE 802.16*, HiperMAN, WiMax se ha focalizado, al dia de hoy, en el IEEE 802.16 a/d (aplicaciones fijas) tomando la opción OFDM para la capa física, el flujo IP por encima del MAC, la operación en bandas licenciadas (2.5 GHz, 3.5 Ghz) y la banda ISM no licenciada de 5.8 GHz.

Figura B10. Ambito de la tecnologías inalámbricas



2.1. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

WiMax define una capa física OFDM con organización TDM/TDMA, cuyo formato de trama (tanto ascendente como descendente) se define en tiempo real, trama a trama, mediante un intervalo de tiempo [(*slot*)-descriptor de trama] ubicado al comienzo de cada trama descendente que se encarga de definir todas las características (nº de *slots*, composición de los mismos, modulaciones, tipos de servicio, etc.). Este aspecto dota al sistema de una flexibilidad máxima, optimizando sus prestaciones en función del número y tipo de clientes a servir en cada momento, así como de las características de propagación existentes en cada instante. El sistema contempla un juego de modulaciones adaptativas para ser capaz de elegir (via negociación entre la Estación Base y el equipo de abonado), la mas eficiente posible en cada circunstancia. El juego se compone de BPSK, QPSK, 16 QAM y 64 QAM, de las que son mandatorias QPSK y 16QAM.

También contempla los 2 métodos de duplexación: FDD y TDD, con lo que ayuda a situaciones variadas de asignación de bloques de frecuencia (dos bandas, solo una banda, etc.). La topología definida mandatoria es punto a multipunto, siendo la arquitectura Mesh considerada como opcional. La canalización es muy flexible, desde 1.25 MHz hasta 20 MHz, permitiendo acomodar el espectro disponible de cada operador concreto.

El MAC tiene como filosofía la Petición/Asignación de ancho de banda, con distintas variantes (asignación por conexión, asignación por terminación de cliente (CPE), pudiendo ser esta asignación via polling en tiempo real, polling no en tiempo real o en régimen de best-effort. También existe la asignación de banda no solicitada, si el sistema entiende que es necesaria. Todos estos mecanismos anteriores posibilitan el poder ofrecer Calidad de Servicio (QoS) y Clases de Servicio (CoS) garantizadas, en ancho de banda y latencia, para acomodar todo tipo de servicios y aplicaciones (vídeo, voz, emulación de líneas alquiladas de datos, etc.), sin merma de disponibilidad y con total garantía.

Desde el punto de vista de capacidades radio, el estándar contempla una serie de procesos digitales de señal avanzados con técnicas como conjuntos (*arrays*) adaptativos de antenas para formar haces múltiples (*beam forming*) y arquitecturas STC (*Space Time Coding*) con estructuras MIMO- *Multiple Input Multiple Output*-. Las primeras permiten optimizar el enlace radio en circunstancias sin demasiada contribución multicamino (por ejemplo en entornos rurales), mientras que las segundas están ideadas para cuando exista mucho multicamino (por ejemplo en entornos urbanos o en el interior de los edificios). Con todo lo anterior este standard permite alcanzar cifras de capacidad y cobertura muy poderosas (académicamente se habla de hasta 70 Mb/s y hasta 40 km, en la práctica hay que situarse en 1 km, en condiciones NLOS (sin linea de visión directa) y de hasta 10 km (con línea de visión directa o LOS) en cuanto a cobertura y de capacidades en torno a los 20 Mb/s por sector para una banda de 10 MHz. La propiedad de conseguir un funcionamiento

eficaz en condiciones NLOS tiene una gran importancia económica, ya que posibilita el tener equipo de abonado (CPE) auto-instalable y autoprovisionable, con las consiguientes ventajas que esto acarrea para el operador.

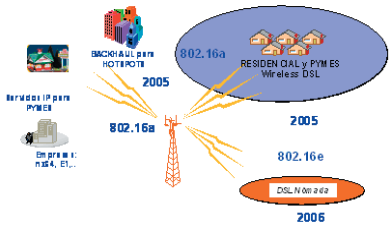
Además la propiedad de interoperabilidad facilita la fabricación de dispositivos WiMax con gran economía de escala, con la consiguiente reducción de precios. Adicionalmente, la interoperabilidad permite el disponer de múltiples fuentes de suministradores, con la consiguiente reducción de riesgo para los operadores.

Se espera que el WiMax incorpore a su dominio de actuación en el futuro la variante IEEE 802.16e, que dota de ciertas propiedades de movilidad a este standard. Este componente va a facilitar la incorporación de nuevas aplicaciones de nomadismo ó portabilidad (a semejanza de lo que ahora se puede disfrutar con WiFi solo que con mejores prestaciones de capacidad, alcance y calidad de servicio). El IEEE 802.16e se espera que esté finalizado hacia la mitad de 2005 y los productos comerciales asociados a esta variante (PCMCIAs para portátiles o PDAs y chipset embebido en portátiles) disponibles en el mercado en 2006.

2.2. APLICACIONES DE WIMAX

Las primeras aplicaciones WiMax van a ubicarse en el ámbito del acceso, tanto para empresas tipo PYMEs (provisión de nx64 kb/s, 2 Mb/s) como para el entorno residencial y SoHo (Wireless DSL con 512 kb/s o 1 Mb/s de pico), probablemente con mas incidencia en los entornos rurales. También como solución de conectividad (backhaul) de islas WiFi ya desplegadas en hot-spots tales como hoteles, aeropuertos, estaciones, etc.

Figura B11. Aplicaciones de WiMax



Posteriormente (segunda mitad 2006 en adelante) y con la incorporación de la variante 16e aparecerán las aplicaciones nómadas y con ellas su posible uso como alternativa wireless en redes de cliente (al tener los portátiles *chip-sets* incorporados WiMax) así como con la existencia de PCMCIAs WiMax para portátiles.

2.3. ASPECTOS REGULATORIOS

WiMax puede operar tanto en bandas licenciadas como en bandas no licenciadas. En el esquema aplicable a España, esto significa, para las bandas licenciadas, el operar en la zona de 3.5 GHz (actualmente la Administración ha concedido bloques de 20 + 20 MHz por operador en esta banda, con separación de 100 MHz), y para las bandas no licenciadas, el operar en la banda ISM de 5 GHz.

El operar en bandas ISM no licenciadas o de uso común no garantiza la protección frente a otras utilizaciones ni puede causar perturbaciones a servicios existentes legalmente autorizados.

Para la banda de 5 GHz, el CNAF (Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencia) autoriza las siguientes subbandas para el servicio móvil en redes de área local de altas prestaciones con las siguientes condiciones:

- Banda 5150 – 5350 MHz: El uso por el servicio móvil en redes de área local se restringe para su utilización únicamente en el interior de recintos y las características técnicas deben ajustarse a los siguientes valores: Potencia (p.i.r.e.) Máxima (promediada sobre una ráfaga de transmisión ajustada a la máxima potencia):

  5150-5250MHz (**): 30mW (sin TPC); 120mW (con TPC); 200mW (TPC/DFS)

  5250-5350MHz (**): 60mW (con DFS); 200 mW (con TPC/DFS)

  (**) La densidad espectral de p.i.r.e. media no ha de exceder de 0,04 mW/4 kHz medida en cualquier ancho de banda de 4 kHz.

  TPC: Se refiere a sistemas que dispongan de control de potencia transmitida.

  DFS: Se refiere a sistemas que dispongan de selección dinámica de frecuencia de acuerdo a la Recomendación UIT-R M.1652 sobre sistemas de acceso radio

- Banda 5470 – 5725 MHz: Esta banda puede ser utilizada para redes de área local en el interior o exterior de recintos con potencia inferior o igual a 1 W

(p.i.r.e.). Estos sistemas deberán disponer de técnicas de control de potencia (TPC) y selección dinámica de frecuencia (DFS) de acuerdo a las especificaciones de la Recomendación UIT-R M.1652 sobre sistemas de acceso radio ■

3. IEEE1394 FIREWIRE

Este estándar se originó en 1986 por un grupo de ingenieros de *Apple Computer* que le pusieron el nombre comercial de FireWire, haciendo referencia a sus velocidades de operación. La primera especificación de este enlace se finalizó en 1987 y en 1995 se adoptó como el estándar IEEE 1394.

El nombre del estándar se debió a que el Comité de estándares de IEEE trató de unificar varios estándares relativos a implementaciones para comunicaciones serie por bus. Como se habían considerado 1393 estándares se adoptó el nombre de IEEE 1394. De forma informal este estándar se conoce como 1394.

La Asociación TA 1394 *(Trade Association)* se fundó en 1994 para dar soporte en el desarrollo de sistemas que se pudieran conectar a otros a través de un único enlace multimedia serie. Actualmente la Asociación la constituyen más de 170 miembros. Algunas de las empresas que forman parte de esta Asociación son *Sony, Intel, Microsoft, JVC, IBM, Matushita, Compaq, NEC, Philips, y Samsung.*

Los directores de la Asociación son voluntarios elegidos de entre los miembros de la Asociación. La oficina principal de la TA 1394 se encuentra en Santa Clara, California.

La tecnología IEEE 1394 permite la conexión de ordenadores, periféricos, impresoras,VCR *(Video Casette Recorder)*, televisores, cámaras digitales, etc. de una forma muy sencilla. Actualmente existe un gran número de productos IEEE 1394, así como infraestructuras que dan soporte a los productos: conectores, cables, equipos de test, modelos de emulación, etc. La tecnología IEEE 1394 se denomina FireWire, que es el nombre acuñado por Apple en sus inicios. Otros conocen esta tecnología como i.Link que es la marca de *Sony*, cuyo objeto era hacer más amigable la tecnología IEEE 1394 para las industrias de ordenadores y dispositivos CE (*Consumer Electronics)*. Por tanto, IEEE 1394, FireWire e iLink son denominaciones dadas a una misma tecnología.

Debido a su versatilidad, IEEE 1394 conlleva la necesidad de definir una serie de especificaciones que gobiernan cada uno de los aspectos de su uso. Existen más de 70 documentos que intentan definir las características de los dispositivos basados en IEEE 1394. Esto indica la gran variedad de aplicaciones que permite esta tecnología. Sin embargo a pesar de la existencia de un gran número de documentos, sólo existen los siguientes documentos básicos:

- IEEE 1394-1995. Este documento, punto de partida de los demás estándares, define la arquitectura fundamental, los servicios, etc. Especifica los servicios de transporte fundamental y la arquitectura. Esta especificación inicial soporta velocidades de transmisión de datos de 100 a 400 Mbit/seg.

- IEEE 1394a. Este documento incluye correcciones a la especificación 1394-1995, especialmente en lo relativo a la capa física y detalles del *software*.

- IEEE 1394-b. Poco después de que comenzara el proyecto 1394a un gran número de compañías establecieron las mejoras que se deberían hacer a la especificación en lo relativo a la velocidad y al alcance.

- IEEE 1394.1. Especifica las conexiones entre varios buses 1394. Esto permite que se comuniquen entre sí más de 63 nodos, y también disponer de sub-redes de mayor ancho de banda que se unan de forma conjunta sin que afecte a las prestaciones y características de toda la red.

3.1. DESCRIPCIÓN TÉCNICA

IEEE 1394 es un protocolo serie que soporta diferentes velocidades de transmisión dependiendo de su implementación. IEEE 1394 es un bus de alta velocidad con capacidad *plug-and-play* que elimina la necesidad de que los periféricos tengan su propia alimentación. Es el nexo de unión entre PCs y CEs *(Consumer Electronics)*. Por ejemplo, un VCR digital se puede usar como un periférico para PC tanto para la reproducción de películas como para la grabación de vídeo que ha sido editado en el PC.

Debido a las altas velocidades que puede soportar IEEE 1394 es un estándar adecuado para aparatos A/V, de almacenamiento, impresoras, etc.

IEEE 1394 soporta una arquitectura modular que beneficia a los usuarios que pueden aprovechar las capacidades de expansión de este sistema para incluir nuevos periféricos al PC y aparatos CE.

3.2. CARACTERÍSTICAS BÁSICAS

Entre las características que contribuyen a la facilidad de utilización de 1394 es su capacidad hot plugin. Los periféricos externos se pueden conectar al sistema sin necesidad de tener que apagar los equipos que existen en la estructura de red. La escalabilidad es otra característica importante de IEEE 1394. Es posible que dispositivos que tiene diferentes tasas de datos puedan operar en el mismo bus al mismo tiempo.

A continuación se resumen las características más sobresalientes de 1394 son:

- Rápida transferencia de datos: 100, 200 o 400 Mbps
- Interfaz digital: No necesita convertir los datos digitales en analógicos.
- Pequeño físicamente: El cable es delgado sustituyendo a interfaces más grandes y caras.
- Fácil de usar: No necesita terminaciones, IDs de dispositivos o una configuración especial.
- Hot pluggable: Los usuarios pueden añadir o sustituir los dispositivos cuando el bus 1394 está activo.
- Arquitectura escalable: Permite mezclar dispositivos a 100, 200 y 400 Mbps en el bus.
- Auto-configuración: No necesita conmutadores de dirección.
- Topología flexible: Hasta 63 dispositivos en hasta 1023 buses con un máximo de 16 nodos de hasta 4.5 metros entre cada dispositivo.
- Gestión del bus: es eficiente tanto para configuraciones grandes como pequeñas.
- Transferencia de datos asíncronos e isócronos: Ancho de banda garantizado.
- Arquitectura de tres capas.
- Sistema de arbitrio justo: todos los nodos tiene un acceso apropiado al bus.
- Comunicación *peer-to-peer*.
- Coste de buffer reducidos.
- La extensión 1394 a al estándar mejora la eficiencia de la transferencia de datos y los mecanismos de arbitrio a la vez que mantiene la compatibilidad con la versión anterior del estándar.
- La extensión 1394b del estándar aumenta la tasa de señalización del estándar original permitiendo tasas de 800 Mbps, 1600 Mbps y superiores.

3.3. TOPOLOGÍA

El estándar 1394 es una tecnología basada en dos categorías de bus: *backplane* y cable. Ambas versiones son totalmente compatibles en la capa de enlace y capas superiores. Las señales transmitidas en las dos categorías de bus son NRZ *(Non Return Zero)* con codificación DS *(Data-Strobe)*. El bus *backplane* se ha diseñado para complementar estructuras de bus paralelas proporcionando un camino de comunicación serie alternativo entre los dispositivos conectados al *backplane*. El bus de cable es una red no cíclica con ramas finitas que consisten en bridges y nodos (dispositivos de cable). Que la red sea no cíclica significa que no se pueden conectar dispositivos de forma conjunta para crear lazos.

El direccionamiento de los dispositivos se realiza mediante palabras de 64 bits, de los cuales 10 bits son para la identificación de la red, 6 bits para la identificación del nodo y 48 bits para las direcciones de memoria. El resultado es la capacidad para direccionar 1023 redes de 63 nodos, con 281 terabytes de memoria. El direccionamiento basado en memoria ve los recursos como registros o memoria a la que se puede acceder por medio de transacciones procesador-memoria. A cada entidad en el bus se le denomina “nodo”, el cual se direcciona, resetea e identifica de forma independiente.

Una característica clave de la topología 1394 es su capacidad multi-master y el *hot-plugging*. Otra característica es que la velocidad de transmisión varía desde aproximadamente 100 Mbps a 400 Mbps con 1394a-2000 y hasta 3200 Mbps con P1394b. En el caso de la especificación de 1995 la tasa de señalización real es de 98.304, 196.608 y 393.216 Mbps, aunque estas tasas se redondean a 100, 200 y 400 Mbps. Cada nodo también actúa como repetidor, permitiendo la unión de varios nodos para formar una topología de árbol. Debido a la alta velocidad de 1394 la distancia máxima, determinada principalmente por la atenuación de la señal, entre nodos es 4.5 metros y el máximo número de nodos es una cadena es 16, con

lo que la distancia máxima entre los nodos más alejados es de 72 metros.

La unión de varios nodos adopta la topología de árbol. Cada vez que se quita o se añade un nuevo nodo a la estructura la información previa relativa a la topología de árbol se borra. A continuación se identifica la nueva topología asignándose a cada nodo una nueva dirección. Asimismo se asigna dinámicamente un nodo raíz. Una vez formado el "árbol" existe una fase en la que cada nodo se identifica frente a los otros nodos. Una vez que cada nodo ha recopilado toda la información necesaria, el bus se queda en un estado de "espera" hasta que comience la transferencia de información.

Una capacidad adicional de 1394 es que pueden ocurrir transacciones a diferentes velocidades en un único medio (por ejemplo algunos dispositivos se pueden comunicar a 100 Mbps mientras que otros se comunican a 400 Mbps).

3.4. MODOS DE FUNCIONAMIENTO

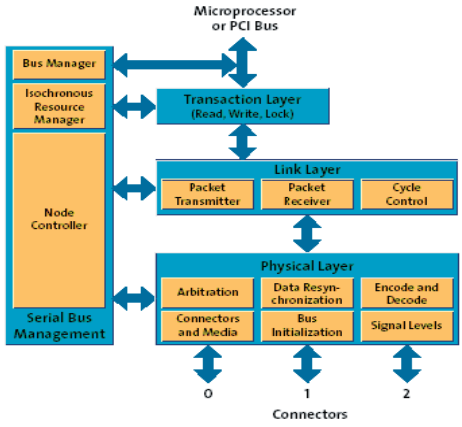
IEEE 1394 soporta dos tipos de transferencias de datos: asíncronos e isócronos. La transferencia de datos asíncrona pone el énfasis en garantizar la entrega de datos y menos énfasis en garantizar el tiempo. Las transferencias isócronas se caracterizan justo por lo contrario: el énfasis se pone en el tiempo y menos énfasis en la entrega.

El formato asíncrono transfiere los datos y la información de la capa de transacción a una determinada dirección. El transporte asíncrono es el método tradicional de transmitir datos entre ordenadores y periféricos. El formato isócrono retransmite los datos basándose en números de canal en vez de en un direccionamiento específico. Los paquetes isócronos se envían cada 125 mseg para soportar las aplicaciones sensibles en tiempo. Si se proporcionan los dos tipos de formatos, asíncronos e isócronos, en la misma interfaz la ventaja es que es posible que aplicaciones no críticas en tiempo y aplicaciones críticas en tiempo operen en el mismo bus.

3.5. ESTRUCTURA DEL PROTOCOLO

El estándar 1394 define una arquitectura de protocolo de tres capas: capa de transacción, capa de enlace y capa física, que son las tres capas más bajas del modelo de referencia OSI. La capa física está relacionada con el conector 1394 y las otras dos capas con la aplicación. Para implementar un dispositivo específico se tiene que situar las capas adicionales de protocolo y las capas de aplicación por encima de estas tres capas para proporcionar la funcionalidad única de aquellos dispositivos que utilizan 1394 como medio de interconexión.

Figura B12. Estructura de protocolos IEEE1394



Las tres capas que implementan el protocolo 1394 realizan las siguientes funciones:

- La capa física (PHY) proporciona las conexiones eléctricas y mecánicas entre el dispositivo.
- 1394 y el cable 1394. Además de la transmisión y recepción de datos, la capa física asegura que todos los dispositivos tengan un acceso al bus adecuado.
- La capa de enlace (*Link*) proporciona un servicio de entrega de paquetes de datos a los nodos. Los paquetes de datos isócronos se formatean y transfieren directamente a la aplicación.
- La capa de transacción soporta los comandos *write*, *read* y *lock* del protocolo asíncrono. El comando *write* envía los datos desde el origen al receptor y el comando *read* devuelve los datos al origen.
- El comando *lock* combina los dos anteriores produciendo una combinación de datos entre el transmisor y el receptor que incluye procesado por parte del receptor ■

4. USB *(UNIVERSAL SERIAL BUS)*

Un grupo de compañías tales como *Compaq*, *Hewlett Packard*, *Intel*, Lucent, *Microsoft*, *NEC* y *Philips* ha realizado el desarrollo de la especificación USB. Actualmente, la versión del estándar es la versión 2.0, finalizada a principios del 2000. Se trata de una extensión o evolución de la especificación USB versión 1.0, desarrollado en 1995 por muchas de las mismas compañías que han trabajado en la especificación USB 2.0. El principal objetivo de USB es definir un bus de expansión externa que permitiera añadir periféricos a un PC de una forma sencilla.

El grupo de compañías que han desarrollado esta especificación constituyen el USB-IF (USB *Implementers Forum*). Este Forum fue constituido con el objeto de proporcionar soporte en el desarrollo y adopción de la tecnología USB, facilitando el desarrollo de periféricos USB compatibles de alta calidad.

El desarrollo del USB inicialmente se debió a tres motivos:

- Conexión del PC al teléfono.
- Facilidad de uso.
- Expansión de puerto.

El motivo principal por el que se ha desarrollado la segunda versión de la especificación es el hecho de que los PCs cada vez procesan mayores cantidades de datos. Al mismo tiempo, los periféricos que existen en el mercado cada vez tienen mejores prestaciones, y algunas aplicaciones tales como procesado digital de imagen demandan una conexión de mejores prestaciones entre el PC y los periféricos.

USB 2.0 tiene tasas de transferencia de 480 Mb/s frente a las tasas de 12 Mb/s y 1.5 Mb/s definidas inicialmente por USB (1.1 y 1.0 respectivamente). Así, se puede decir que USB 2.0 es una evolución natural de USB 1.0 y 1.1 que dispone del ancho de banda deseado a la vez que mantiene la misma funcionalidad que el USB existente y la compatibilidad con los periféricos existentes. Como ya se ha dicho anteriormente, USB 2.0 aumentará la tasa de datos hasta 480 Mbps, es decir es 40 veces más rápida que los dispositivos USB 1.1. Originalmente, la especificación USB 2.0 tenía por objeto alcanzar velocidades de hasta 240 Mbps, sin embargo con un esfuerzo de ingeniería esa velocidad aumentó hasta 480 Mbps. Con esta velocidad los consumidores se beneficiaran de una serie de periféricos de altas prestaciones. La nueva especificación hereda la capacidad “Plug and Play” de su antecesora además de proporcionar compatibilidad con el hardware USB 1.1.

4.1. USB 2.0 FRENTE A USB 1.1

La especificación USB 2.0 es compatible con la versión 1.1 y utiliza los mismos cables, conectores e interfaces de *software* de tal modo que el usuario no nota ningún cambio en el modo de operación. Las ventajas que ofrece USB 2.0 son que le permite al usuario conectar una gran variedad de periféricos, como cámaras de video-conferencia, escáneres e impresoras de próxima generación, dispositivos de almacenamiento, con las mismas características que los periféricos USB existentes. A continuación se describe cual es el impacto que tiene el desarrollo de la especificación USB 2.0:

- **Impacto para el usuario.** Desde el punto de vista del usuario USB 2.0 es como USB pero con un ancho de banda mucho mayor. Además, puede utilizar una variedad de periféricos mucho mayor. Todos los dispositivos USB de los que disponga el usuario pueden trabajar en un sistema con capacidad USB 2.0.

- **Impacto para el fabricante de PCs**. La especificación USB 2.0 permite a los fabricantes de sistemas conectar periféricos de altas prestaciones del modo menos caro posible. De esta forma, la mejora en prestaciones de USB 2.0 se consigue de forma fácil con poco impacto en el coste global del sistema. Además, en algunos sistemas no se van a necesitar interfaces de gran ancho de banda tales como adaptadores SCSI, lo cual lleva a un ahorro en el coste del sistema.

- **Impacto para el fabricante de periféricos.** Los dispositivos USB que han existido hasta ahora serán totalmente compatibles con el sistema USB 2.0. Debido a las capacidades de USB 2.0 el mercado de periféricos USB aumentará. El diseño de un periférico USB 2.0 requiere el mismo esfuerzo de ingeniería que el diseño de un periférico USB 1.1. Existen algunos periféricos de baja velocidad, tales como HID, en los que no conviene realizar un rediseño para que

soporten la alta velocidad de la especificación USB 2.0 puesto que aumentaría de forma significativa el coste final.

USB es principalmente un bus para conexión de periféricos y dispositivos a PCs. Hasta hace poco existían en el mercado muchos periféricos cuya principal desventaja era su velocidad. Con esta nueva versión de la especificación este problema queda resuelto.

De acuerdo con el Grupo Promotor del USB 2.0, USB 2.0 es similar a USB pero con mucho más ancho de banda. El *hardware* USB 2.0 utiliza los mismos cables y los mismos conectores para que los usuarios no noten ninguna diferencia en los métodos de conexión. Los nuevos dispositivos USB 2.0 coexisten con los dispositivos USB 1.1 actuales en un sistema USB 2.0.

Los conectores USB 1.1 y los cables *full-speed* soportan las altas velocidades de USB 2.0 sin ningún cambio. Sin embargo, para poder beneficiarse de las características del *hardware* USB 2.0 los usuarios tendrán que actualizar sus sistemas USB 1.1 con tarjetas PCI que cumplan la especificación USB 2.0. Además, los *hubs* USB 1.1 no pueden operar con el *hardware* USB 2.0. Sin embargo, los repetidores USB 2.0, compatibles con los dispositivos USB 1.1, realizan el papel de los *hubs* USB 1.1. Pueden operar en tres modos: *high-speed* (480 Mbps), full-speed (12 Mbps) y low-speed (1.5 Mbps). En la práctica los usuarios tienen que conectar su *hardware* USB 2.0 a ambos extremos para conseguir el modo *high-speed.*

En un extremo, el controlador del *host* USB 2.0 reside en el host para controlar el proceso de enumeración y el control de potencia. En el otro extremo, el *hardware* USB 2.0 tiene que estar conectado directamente al *hub* raíz a través de un hub USB 2.0.

En lo que respecta al *software*, los sistemas operativos con soporte USB 2.0 siguen trabajando con periféricos USB 1.1, pero también reconocen el *hardware* USB 2.0. El *software* del sistema puede optimizar sus prestaciones en un entorno variado donde tanto el *hardware* USB 1.1 como el *hardware* USB 2.0 pueden estar conectados simultáneamente al *bus* USB 2.0. Si el sistema detecta un periférico USB 2.0 unido al sistema USB 1.1, entonces notifica al usuario la detección de una configuración subóptima y recomienda una mejor configuración para unir el dispositivo.

La Tabla B3 muestra el tipo de tráfico de datos que se pueden obtener a través del *bus* USB. De dicha tabla se deduce que un bus a 480 Mb/s comprende todos los rangos: *high-speed*, *full-speed* y *low-speed.*

Tabla B3. Aplicaciones según el tipo de trafico

Prestaciones	Aplicaciones	Atributos
LOW SPEED	Teclado	Coste más bajo
Dispositivos interactivos	Ratón	Facilidad de uso
10-100 Kb/s	Periféricos para juegos	Múltiples periféricos
FULL SPEED	POTS,	Coste más bajo
Teléfono, Audio y Vídeo comprimido	Banda Ancha,	Facilidad de uso
500 Kb/s - 10 Mb/s	Vídeo Comprimido	Ancho de banda garantizado
	Micrófono	Múltiples periféricos
HIGH SPEED	Vídeo,	Bajo coste
Vídeo, almacenamiento	Almacenamiento,	Facilidad de uso
25-400 Mb/s	Imágenes,	Múltiples periféricos
	Banda Ancha	Ancho de banda garantizado
		Alto ancho de banda

Normalmente, los tipos de datos *high-speed* y *full-speed* pueden ser isócronos,mientras que los datos *low-speed* provienen de dispositivos interactivos.

4.2. ARQUITECTURA USB

En esta sección se presenta una descripción general de la arquitectura USB. USB es un *bus* de cable que soporta el intercambio de datos entre un ordenador que actúa de host y una gran variedad de periféricos a los que se puede acceder simultáneamente. Los periféricos unidos a dicho ordenador principal comparten el ancho de banda mediante un protocolo *tokenbased*. Este *bus* permite que se unan, usen y configuren dispositivos al mismo tiempo que otros periféricos están funcionando.

■ Descripción básica del Sistema USB

El Sistema USB se describe fundamentalmente por medio de las tres áreas funcionales siguientes:

- Interconexión USB.
- Dispositivos USB.
- Host USB.

La interconexión USB es la manera en que los dispositivos USB se conectan y se comunican con el *host*. Incluye lo siguiente:

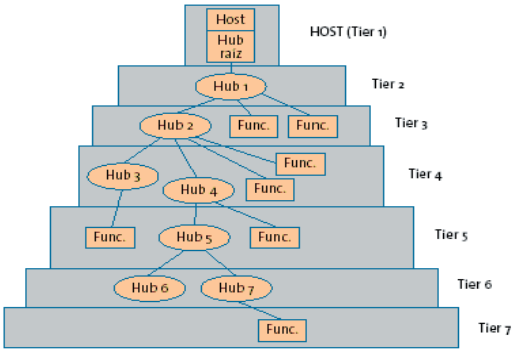
- Topología del bus: modelo de conexión entre los dispositivos USB y el *host*.
- Relaciones entre capas: las tareas que son realizadas en cada capa del sistema.
- Modelos de flujo de datos: la manera en que los datos se mueven en el sistema.
- Esquema USB: USB proporciona una interconexión compartida. El acceso a dicha interconexión se programa para soportar transferencias de datos isócronas.

El bus USB conecta los dispositivos USB con el *host* USB. La interconexión física USB sigue una topología en estrella por capas. En el centro de cada estrella se encuentra un *hub*. Cada segmento de cable es una conexión punto - punto entre el *host* y un *hub* o función, o entre un *hub* y otro *hub* o función. Se entiende por función un dispositivo USB que proporciona una determinada capacidad al host, tal como una conexión ISDN, un micrófono digital o altavoces.

Debido a las limitaciones de tiempo marcadas por los tiempos de propagación del *hub* y del cable, el máximo número de capas que está permitido es siete (incluyendo la capa raíz).

La Figura B13 muestra cual es la topología del *bus*.

Figura B13. Topología del *bus* USB



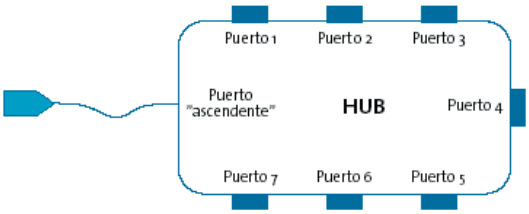
La segunda de las áreas funcionales en un sistema USB son los dispositivos USB. Existen dos clases principales de dispositivos USB: *hubs* y funciones. Sólo los hubs tiene la capacidad de proporcionar puntos de unión adicionales al sistema USB. Las funciones proporcionan capacidades adicionales al *host*. A continuación se describe de forma más detallada cada uno de ellos:

- ***Hubs*, que proporcionan puntos de unión adicionales al sistema USB. La Figura B14 siguiente muestra un hub típico. Los *hubs* sirven para simplificar la conexión USB desde el punto de vista del usuario. Los *hubs* son "concentradores" de cables que permiten la unión múltiple USB. Los puntos de unión se denominan puertos. Cada *hub* convierte un único punto de unión en múltiples puntos de unión. La arquitectura USB soporta la concatenación de varios hubs. El puerto "ascendente" de un *hub* conecta el *hub* con el host, y cada uno de los puertos "descendentes" de un hub permite la conexión con otro *hub* o con una función. Los hubs pueden detectar cuando se conecta o desconecta un dispositivo USB en un puerto "descendente" y de esta forma gestionar la distribución de potencia. Cada puerto "descendente" puede operar con dispositivos *high*, *full* o *low-speed.***

Un *hub* USB 2.0 consta de tres porciones:

- El controlador del *Hub*. Proporciona la comunicación a y desde el *host*. Los comandos de control y estado específicos del *hub* le permiten al *host* configurar un *hub* y monitorizar y controlar sus puertos.
- El repetidor del *Hub*. Se trata de un *switch* entre el puerto "ascendente" y el puerto "descendente".
- El traductor de la transacción. Proporciona los mecanismos que soportan los dispositivos *full-/low-speed* detrás del *hub*, a la vez que transmite todos los datos de dispositivo entre el *host* y el *hub* a alta velocidad.

Figura B14. *Hub* USB típico



- **Funciones**, que proporcionan una capacidad extra al sistema, como pueda ser una conexión ISDN, un *joystick* digital, una impresora, una cámara, unos altavoces, etc. Dicho con otras palabras una función es un dispositivo USB que permite transmitir o recibir datos o controlar la información por el bus. La forma típica de implementar una función es como un periférico separado con un cable que se enchufa en un puerto o en un *hub*.

Cada función contiene información de configuración que describe sus capacidades. Antes de que se pueda utilizar una función, el *host* debe configurarlo. Esta configuración incluye el asignarle un ancho de banda y seleccionar las opciones de configuración específicas de la función.

Los dispositivos USB deben presentar una interfaz estándar en términos de:

- Comprensión del protocolo USB
- Respuesta a las operaciones estándar USB, tales como configuración y reinicio.

Finalmente, en un sistema USB sólo existe un *host* USB. La interfaz USB entre los dispositivos USB y el Host se denomina *Host Controller*. Éste se puede implementar mediante una combinación de *hardware/software.* El *host* es responsable de las siguientes tareas:

- Detectar cuando se une o desconecta un dispositivo USB al *host*.
- Gestionar el flujo de control entre el *host* y los dispositivos USB.
- Gestionar el flujo de datos entre el *host* y los dispositivos USB.
- Recoger estadísticas sobre el estado y la actividad desarrollada.
- Proporcionar la potencia a los dispositivos USB conectados.

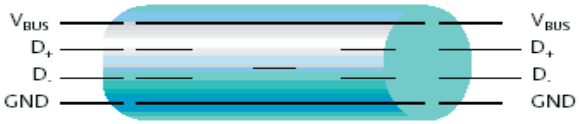
En lo que respecta al *software* del sistema USB existen cinco áreas de interacción entre el *software* del sistema USB y el *software* del dispositivo:

- Enumeración y configuración de los dispositivos.
- Transferencias de datos isócronos.
- Transferencias de datos asíncronos.
- Gestión de la potencia.
- Información de la gestión del bus y el dispositivo.

4.2.2. Interfaz física

La interfaz física de USB 2.0 está descrita en las especificaciones eléctrica y mecánica del *bus*.

Figura B15. Estructura del cable USB



USB transfiere señal y potencia através de una línea de cuatro cables como se muestra en la Figura B15. Existen tres tasas de transmisión de datos:

- La tasa de datos de alta velocidad *(high-speed)* es 480 Mb/s
- La tasa de datos *full-speed* es 12 Mb/s
- La tasa de datos a baja velocidad *(low-speed)* es 1.5 Mb/s.

Los controladores del *host* USB 2.0 y los *hubs* disponen de la capacidad de transmitir los datos *fullspeed* y *low-speed* a alta velocidad entre el controlador del *host* y el *hub*. Sin embargo la transmisión entre el *hub* y el dispositivo en cuestión se realiza a su velocidad propia: *full-/low-speed.*

Mediante esta capacidad se minimiza el impacto que tiene los dispositivos *full-speed* y *low-speed* en el ancho de banda disponible para los dispositivos de alta velocidad. De las 4 líneas que lleva el bus, dos son para transferencia de datos y dos para llevar las señales VBUS (que es nominalmente +5V) y GND.

En lo que respecta a la especificación mecánica para los cables y conectores, debe decirse que todos los dispositivos poseen una conexión “ascendente”. Los conectores “ascendentes” y “descendentes” no son intercambiables mecánicamente.

4.2.3.Potencia

La especificación USB 2.0 cubre dos aspectos sobre la potencia:

- Distribución de potencia. Cada segmento USB proporciona una cantidad limitada de potencia en el cable. El *host* proporciona potencia para ser utilizada por los dispositivos USB que se conectandirectamente. Además, cualquier dispositivo USB puede tener su propia fuente de alimentación. Los dispositivos USB que dependen totalmente de la potencia del cable se les denomina "dispositivos de alimentación por *bus*". Por el contrario, a aquellos dispositivos que disponen de una fuente de potencia alternativa se les denomina "dispositivos con alimentación propia". Un *hub* también proporciona potencia a los dispositivos USB que tiene conectados.

- Gestión de potencia. Un host USB puede tener un sistema de gestión de potencia independiente de USB. En ese caso el *software* del sistema USB interactúa con el sistema de gestión de potencia del *host*.

4.2.4.Protocolo del *Bus*

El controlador del *Host* inicia todas las transferencias de datos. La mayoría de las operaciones que se realizan para transferir datos implican la transmisión de hasta tres paquetes. Toda transacción comienza cuando el Controlador del *host* envía un paquete USB describiendo el tipo y dirección de la transacción, la dirección del dispositivo USB y el número asociado a ese dispositivo. A este paquete se le denomina *"token packet"*. El dispositivo designado se selecciona a sí mismo decodificando los campos de dirección adecuados.

En una determinada transacción, los datos pueden ser transmitidos desde el *host* a un dispositivo o desde un dispositivo al *host*. La dirección en la que se realiza la transferencia de datos viene especificada en el *"token packet"*. Entonces, el origen de la transmisión envía un paquete de datos o indica que no tiene datos que transferir. El destino, en general, responde con un paquete en el que indica si la transferencia se ha realizado con éxito. Algunas transacciones entre los controladores del *host* y los *hubs* implican la transmisión de cuatro paquetes de datos. Este tipo de transacciones se utiliza normalmente para controlar o gestionar las transferencias de datos entre el *host* y los dispositivos *full-/low- speed*.

El modelo de transferencia de datos entre una fuente y un destino se denomina pipe. Existen dos tipos de pipes: corriente *(stream)* y mensaje *(message)*. Los datos *stream* no tiene una estructura USB definida, mientras que los datos *message* sí que la tienen.

4.2.5. Configuración del Sistema

USB soporta dispositivos USB que se conectan y desconectan del sistema USB en cualquier momento. Consecuentemente, el *software* del sistema debe acomodar los cambios dinámicos en la topología física del *bus*.

Tal y como se ha dicho anteriormente todos los dispositivos USB se unen al sistema USB a través de puertos localizados en dispositivos USB especiales denominados hubs. Los *hubs* tiene *bits* de estados que se utilizan para informar la conexión o desconexión de un dispositivo USB a uno de sus puertos. En caso de que se produzca una conexión el host habilita el puerto. El *host* le asigna una única dirección al dispositivo y determina si el dispositivo nuevo que se ha conectado es un *hub* o una función.

Cuando un dispositivo USB se ha desconectado de uno de los puertos del *hub*, el *hub* deshabilita el puerto y proporciona una indicación de que se ha producido ese hecho. Ese tipo de indicación se realiza gracias al software apropiado del sistema USB. Si el dispositivo que se desconecta es un *hub*, el *software* del sistema debe gestionar la desconexión del *hub* y la desconexión de todos los dispositivos USB que estaban anteriormente unidos al sistema por medio del *hub*.

Por último la enumeración del *bus* es la actividad que identifica y asigna direcciones únicas a los dispositivos conectados al *bus*. Como el sistema USB permite que cualquier dispositivo USB se pueda conectar o desconectar del sistema en cualquier momento, la enumeración del bus es una actividad que se está produciendo continuamente por medio del software del sistema. Además, por medio de esta actividad se detectan las desconexiones de los diferentes dispositivos.

4.2.6.Tipos de flujos de datos

El USB soporta el intercambio de datos entre el *host* y un dispositivo de forma uni-direccional y bidireccional. En general se puede decir que un intercambio de datos se produce de forma independiente a otro intercambio de datos entre el host y otro dispositivo USB. La arquitectura USB permite cuatro tipos de transferencia de datos:

- *Control Transfers*: Se utilizan para configurar un dispositivo en un momento determinado.

- *Bulk Data Transfers*: Normalmente consisten en grandes cantidades de datos, como los usados para impresoras o escáneres. La transferencia de este tipo de datos es secuencial. El intercambio de datos se asegura a nivel de *hardware* utilizando la corrección de error en el *hardware*.

- *Interrup data Transfers:* Los tipos de datos que se transmiten en este tipo de transferencias son la notificación de eventos, caracteres o coordenadas organizadas en uno o más bytes.

- *Isochronous Data Transfers*: Ocupan una cantidad pre-negociada de ancho de banda USB. Se trata de datos que se crean en tiempo real. Un ejemplo claro de este tipo de datos es la voz ■

5. BLUETOOTH

Bluetooth es un protocolo estándar de comunicaciones que permite la conexión entre toda clase de dispositivos. El nombre de *Bluetooth* proviene del nombre de un rey vikingo que vivió en la última parte del siglo X y que controló y unió Dinamarca y Noruega (de ahí la inspiración del nombre: unir dispositivos a través de *Bluetooth*).

Se trata de una tecnología de radio de corto alcance para la conexión sin hilos de dispositivos móviles (PDAs, teléfonos móviles, portátiles, hornos de cocina, frigoríficos, termostatos, etc.) y que opera en el espectro de frecuencias de 2.4 GHz. La tecnología *Bluetooth* es el resultado de los logros conseguidos por 9 compañías líderes en la industria de las telecomunicaciones como son *3 Com, Ericsson, Intel, IBM, Lucent, Microsoft, Motorola, Nokia y Toshiba*. Todas estas compañías fundaron el SIG (Special Interest Group) en julio de 1999 con objeto de formar un soporte industrial para que el protocolo *Bluetooth* se convirtiera en un estándar industrial.

El SIG actualmente cuenta con más de 3300 compañías miembros. Esto es lo que está haciendo que este estándar esté creciendo tan deprisa.

Este protocolo está pensado para permitir que diferentes dispositivos intercambien datos de forma inalámbrica. Esta conexión se basa en FHSS en la banda de 2.4 GHz, soportando tasas de hasta 1 Mbps y alcanzando rangos entre 10 centímetros y 10 metros, pero estos rangos se pueden extender hasta 100 metros aumentando la potencia transmitida. Entre sus características está que incluye soporte para hasta tres canales de voz, seguridad, disponibilidad actual, bajo consumo de potencia y bajo coste.

La gran ventaja de *Bluetooth* (que lo diferencia de otros similares como *HomeRF*) estriba en que quiere ser totalmente funcional incluso sin PC. Es decir, se trata de un sistema *ad-hoc*: no hay una estación base o un controlador central.

De hecho, la especificación *Bluetooth* es un estándar que contiene la información necesaria para asegurar que todos aquellos dispositivos que soporten la tecnología inalámbrica *bluetooth* se puedan comunicar con los demás. La especificación está dividida en dos secciones:

- Volumen 1: Núcleo. En él se describe cómo funciona la tecnología, esto es, la arquitectura del protocolo *Bluetooth*.

- Volumen 2: Perfiles *Bluetooth*. Describe cómo se usa la tecnología, esto es, como se usan las diferentes partes de la especificación para que un dispositivo *Bluetooth* cumpla una función deseada.

La última versión del estándar *Bluetooth* es la versión 1.2, Soporta tasas de hasta 10 Mbps e incluye soporte para el protocolo *Internet*. Los productos *Bluetooth* que salgan al mercado llevarán un identificador (representado en el anagrama expuesto junto al título de esta sección) por dos motivos:

- Es el identificador de que un producto cumple esa tecnología. *Bluetooth* es invisible, no como IrDA que puede ser identificada por el plástico especial que llevan los productos dentro del cual se encuentra en transmisor.

- Esa figura sirve como marca de calidad en cuanto a que sólo aquellos productos que hayan superado el programa de cualificación pueden llevar el símbolo.

5.1. VENTAJAS DE *BLUETOOTH*

La tecnología *Bluetooth* elimina la necesidad de utilizar cable para realizar la conexión de ordenadores, teléfonos móviles, ordenadores portátiles y otra clase de dispositivos. Para ello se inserta en los dispositivos digitales un microchip que incorpora un transmisor/receptor. Con la tecnología *Bluetooth* se pueden realizar todas las conexiones instantáneamente y sin cable. Esta tecnología facilita una transmisión segura y rápida de voz y datos, incluso cuando los dos dispositivos entre los que se establece la comunicación no se encuentran en la misma línea de visión. El enlace por radio opera en una banda frecuencial global lo que asegura que sea compatible en cualquier lugar del mundo. Las ventajas que ofrece la tecnología *Bluetooth*, propias de las redes inalámbricas, son:

- Se puede disponer de puntos de acceso de voz y datos.

- No se necesita cable.

- Se pueden tener redes personales *ad-hoc*.

La tecnología *Bluetooth* se ha diseñado para ser completamente funcional incluso en medios muy ruidosos y sus transmisiones de voz son audibles bajo condiciones severas. La tecnología proporciona una tasa de transmisión muy alta y todos los datos están protegidos mediante métodos avanzados de corrección de errores, así como rutinas de encriptación y autenticación para la privacidad del usuario.

5.2. ARQUITECTURA Y FUNCIONAMIENTO DE *BLUETOOTH*

El sistema *Bluetooth* posibilita la conexión punto–punto y la conexión punto–multi-punto. En la conexión punto–multi-punto varias unidades *Bluetooth* comparten el mismo canal. Dos o más unidades que comparten el mismo canal forman una piconet (picored). Existe una unidad master y pueden existir hasta 7 unidades slave activas. Estos dispositivos pueden estar en cualquiera de los siguientes estados:

- *Active*. En este modo tanto el master como el slave participan de forma activa en el canal escuchando, transmitiendo o recibiendo los paquetes. El master y el slave están sincronizados.

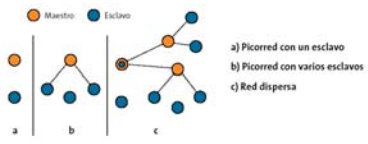
- *Sniff*. En este modo el slave en vez de estar escuchando en cada slot el mensaje del master, chequea algunos periodos de tiempo, ahorrando potencia en aquellos instantes en los que se encuentra "durmiendo".

- *Hold*. En este modo un dispositivo de forma temporal puede no soportar paquetes e ir a un modo de baja potencia para que el canal esté disponible.

- *Park*. Cuando un slave no necesita participar en el canal de la piconet pero todavía quiere permanecer sincronizado con el canal.

Si varias ***piconets*** tienen áreas de cobertura que se superponen forman una *scatternet* o red dispersa.

Figura B16. Tipos de redes *Bluetooth*



Esta tecnología usa radioenlaces de corto alcance con el objetivo de sustituir los cables para realizar la comunicación entre dispositivos, ya sean fijos o móviles. Sus características básicas son su baja complejidad, baja potencia y bajo coste. Está diseñada para operar en medios ruidosos y utiliza un esquema de *frequency hopping* para hacer el enlace fiable.

Esta tecnología opera en la banda ISM a 2.4 GHz y evita la interferencia con otras señales simplemente realizando un salto a una nueva frecuencia después de transmitir o recibir un paquete. Comparado con otros sistemas en la misma banda frecuencial, los saltos *Bluetooth* son más rápidos y utiliza paquetes más cortos.

El sistema *Bluetooth* consta de una unidad de radio, una unidad de control del enlace y una unidad de soporte para realizar las funciones de control del enlace. El rango de operación varía de 10 metros (en interiores, por ejemplo dentro de casa), hasta 100 (por ejemplo en la sala de un aeropuerto) y depende de la potencia del transmisor en la antena. Así, dependiendo del tipo de dispositivo un enlace por radio *Bluetooth* puede transmitir una potencia variable desde 100 mW (20 dBm) hasta un mínimo de 1 W (0 dBm).

Además de utilizar FH utiliza un esquema TDD para la transmisión *full-duplex* y transmiteutilizando la modulación GFSK *(Gaussian Frequency Shift Keying)*.

El protocolo *Bluetooth* utiliza una combinación de conmutado de paquetes y circuitos. El canal se divide en *slots* y cada *slot* se reserva para paquetes síncronos. La estructura de protocolos puede soportar:

- Un enlace ACL *(Asynchronous Connection-Less)* para datos.

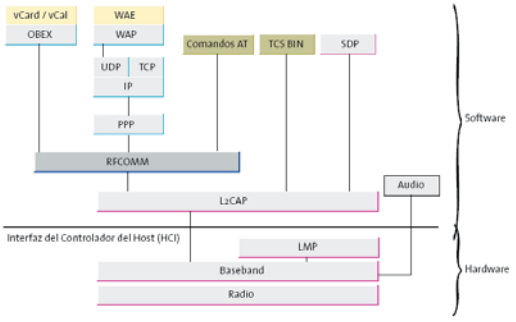
- Hasta tres enlaces simultáneos SCO *(Synchronous Connection-Oriented)* para voz.

- Una combinación de datos asíncronos y voz síncrona.

Cada canal de voz soporta un canal síncrono a 64 Kbps en cada dirección. El canal asíncrono puede soportar un máximo de 723.2 Kbps en el enlace ascendente y 57.6 Kbps en el descendente (o viceversa) o 433.9 Kbps. En la Figura B17 se muestra que existe un protocolo a nivel físico (Banda Base) y un protocolo a nivel de enlace (LMP) con una capa de adaptación (L2CAP) que sirve

de interfaz entre los protocolos de capas superiores y los protocolos de capas inferiores.

Figura B17. Estructura de protocolos y partición *Hardware/Software*



En la Tabla B4, a modo de resumen, se presenta una breve descripción técnica de la tecnología *Bluetoot*h.

Tabla B4. Resumen técnico de la tecnología *Bluetooth*

Rango	10 m (0 dBm)
Rango opcional	100 m (+ 20 dBm)
Potencia normal transmitida	0 dBm (1mW)
Potencia opcional transmitida	-30 a + 20 dBm (100 mW)
Sensibilidad del receptor	-70 dBm
Banda de frecuencia	2400 - 2483 MHz
Máxima transferencia de datos	Asimétrica: 732.2 kbps Simétrica: 432,6 kbps
Máximo número de usuarios	Activos: 8 Inactivos: > 200

La tecnología *Bluetooth* permite tanto la conexión punto a punto como la conexión punto– multipunto. Se pueden establecer varias piconets de tal forma que posteriormente se unan.Todos los dispositivos en la misma piconet están sincronizados. La mejor forma de describir la topología de la red sería como una estructura múltiple de piconets. Cada dispositivo *Bluetooth* puede estar conectado a más de 200 dispositivos y, como la tecnología soporta las conexiones punto–punto y punto–multi-punto, la cantidad máxima de dispositivos conectados simultáneamente es casi ilimitada.

El protocolo de banda base *Bluetooth* es una combinación de conmutación de paquetes y circuitos. Las ranuras se reservan para los paquetes síncronos. Cada paquete se transmite en un salto diferente de frecuencia. Un paquete cubre nominalmente una ranura pero se puede extender hasta cubrir cinco ranuras. *Bluetooh* puede soportar un canal de datos síncrono, hasta tres canales de voz síncronos simultáneos, o un canal que soporta simultáneamente, datos asíncronos y voz síncrono. Cada canal de voz soporta un enlace síncrono de 64 kbps.

El canal asíncrono puede soportar un enlace asimétrico de 721 kbps como máximo en cualquier dirección mientras que permite 57.6 kbps en la dirección de retorno. También puede soportar un enlace simétrico de 432.4 kbps.

Esta tecnología limita la potencia de salida exactamente al valor necesario. Por ejemplo, si el dispositivo receptor indica que se encuentra a unos pocos metros del transmisor, éste último modifica la fuerza de la señal que emite para ajustarla al valor exacto. Es más, mediante esta tecnología también se puede desplazar el modo de operación a baja potencia cuando se pare el volumen de tráfico o alcance un valor bajo. Este modo de baja potencia solamente se ve interrumpido por señales muy cortas con el propósito de verificar la conexión establecida ■

6. IRDA *(INFRARED DATA ASSOCIATION)*

La asociación de datos por infrarrojos *(Infrared Data Association, IrDA)* es una organización patrocinada por la industria y establecida en 1993 para crear estándares internacionales para equipos y programas usados en los enlaces de comunicación por infrarrojos. Actualmente, las especificaciones IrDA definen el protocolo de comunicaciones para muchas aplicaciones por infrarrojos. En esta forma especial de transmisión de radio, un haz enfocado de luz en el espectro de frecuencia infrarrojo, medido en terahertzios o billones de hertzios (ciclos por segundo) se modula con información y se envía de un transmisor a un receptor a una distancia relativamente corta. La comunicación de datos por infrarrojos está ahora jugando un importante papel en las comunicaciones de datos inalámbricas debido a la popularidad de ordenadores portátiles, PDAs, cámaras digitales, teléfonos móviles, buscapersonas y otros dispositivos. Entre los usos existentes o posibilidades razonables están:

- Enviar un documento de nuestro ordenador portátil a una impresora.
- Coordinar agendas y libretas telefónicas entre el ordenador de escritorio y el portátil.
- Enviar faxes desde nuestro ordenador portátil a una máquina de fax distante usando un teléfono público.
- Enviar imágenes desde una cámara digital al ordenador.

La especificación IrDA se divide en varias especificaciones que se listan a continuación:

- **IrDA SIR Data Specification**. *IrDA Serial Infrared Physical Layer Link Specification, IrDA Serial Infrared Link Access Protocol (IrLAP) e IrDA Serial Infrared Link Management Protocol (IrLMP), IrDA Tiny TP*.
- **IrDA Control Specification.** I*rDA Command y Control IR Standard* (inicialmente IrBUS).
- **IrCOMM 1.0.** Protocolo de comunicaciones infrarrojas IrDA.
- **IrTinyTP 1.1**. Protocolo *IrDA Infrared Tiny Transport Protocol.*
- **IrLAN 1.0**. Extensiones de acceso a LAN infrarroja IrDA para el protocolo *Link Management.*
- **IrOBEX 1.2**. Protocolo de intercambio de objetos IrDA.
- **IrDA Lite**. *IrDA Minimal IrDA Protocol Implementation.*
- **IrDA Plug and Play.** Extensiones Plug&Play IrDA a IrLMP 1.0.
- **IrMC.** *IrDA Infrared Mobile Communications*.
- **IrTran-P.** *IrDA Infrared Transfer Picture Specifications*. IrTRAN-P proporciona el protocolo de intercambio de imágenes utilizado en cámaras y dispositivos de captura de imagen digital. Por ejemplo, por medio de IrTranP se puede pasar de una imagen de una cámara digital a un ordenador con Windows 2000/XP. El ordenador aceptará la imagen sin necesidad de tocar ninguna tecla. Además, creará una carpeta con la fecha actual, pondrá la imagen en esa carpeta y abrirá un visor de imágenes.Todas estas características vienen incluidas en Windows 2000/XP con lo que el usuario no tendrá que comprar o instalar nada nuevo.
- **IrDA Dongle Interface**. Especificaciones *IrDA Dongle Interface*.
- **IrWW**. Especificación IrDA para relojes de muñeca.
- **Serial Interface for Transceivers**. Interfaz serie recomendado para el control del transmisor/receptor.
- **Point and Shoot**. *IrDA Point and Shoot Application Profile.*

6.1. DESCRIPCIÓN TÉCNICA

La comunicación infrarroja involucra un transceptor (una combinación de transmisor y receptor) en los dos dispositivos que se comunican. Hay microchips especiales que proporcionan esta capacidad. Además, uno o ambos dispositivos pueden requerir *software* especial para que

la comunicación pueda sincronizarse. Un ejemplo es el soporte especial para IR en el sistema operativo Windows 95 de Microsoft. En el estándar IrDA-1.1, el máximo tamaño de datos que se pueden transmitir es de 2048 bytes y la tasa máxima de transmisión es de 4 Mbps. La IR también puede usarse para interconexiones más largas y es una posibilidad para las interconexiones en redes de área local (LAN). La distancia efectiva máxima es algo menor de ocho kilómetros y el máximo ancho de banda proyectado es de 16 Mbps. Dado que la IR es transmisión en línea visual (ambos dispositivos deben poder "verse" entre sí), es sensible a la niebla y otras condiciones atmosféricas. Actualmente encontramos esta tecnología montada en la práctica mayoría de los ordenadores portátiles, móviles, cámaras digitales, handhelds y otros cientos de dispositivos. Y para cubrir todas las necesidades del mercado, encontramos dos aplicaciones distintas: *IrDA–Data e IrDA–Control*.

La primera de ellas, ***IrDA–Data***, permite la comunicación bidireccional entre dos extremos a velocidades que oscilan entre los 9.600 bps y los 4 Mbps. Esta oscilación depende del tipo de transmisión (síncrona o asíncrona), la calidad del controlador que maneja los puertos infrarrojos, el tipo de dispositivo y, por supuesto, la distancia que separa ambos extremos. Precisamente, éste es uno de los puntos más problemáticos, ya que, aunque la distancia entre emisor y receptor puede alcanzar los 2 metros, no se recomienda superar 1 metro. Por no hablar de los puertos de bajo consumo instalados en móviles y pequeños PDAs, cuyo rango de acción se reduce a no más de 30 cm. En cualquier caso, hemos de situar los artículos en un ángulo máximo de 30 grados y contar con un espacio libre de obstáculos entre ellos. Para que la transmisión de los productos *IrDA–Data* sea posible, se cuenta con tres protocolos básicos:

- PHY *(Physical Signaling Layer)* establece la distancia máxima, la velocidad de transmisión y el modo en el que la información se transmite;

- IrLAP (Link Access Protocol) proporciona la conexión del dispositivo facilitando la comunicación y marcando los procedimientos para la búsqueda e identificación de otros aparatos que se encuentren preparados para comunicarse;

- IrLMP *(Link Management Protocol)* permite la multiplexación de la capa IrLAP, admitiendo múltiples canales sobre una conexión IrLAP.

Junto a estos tres protocolos, existen otros siete que ofrecen funcionalidades extra para acceder a redes de área local, teléfonos móviles o cámaras digitales.

El otro tipo de puerto infrarrojo, el **IrDA–Control** se ha ideado para conectar periféricos de control como teclados, ratones, dispositivos apuntadores o joysticks a una estación fija, dígase un PC, una consola de videojuegos o un televisor. Sin embargo, las diferencias son notables, ya que la distancia máxima se amplía hasta garantizar un mínimo de 5 metros. La velocidad de transmisión, algo que no es crítico para el tipo de productos al que se dirige, alcanza 75 Kbps. Y como ocurría en el caso anterior, para que esto sea posible, cuenta con tres protocolos que establecen la comunicación: PHY *(Physical Signaling Layer)* vuelve a marcar la velocidad y distancia de transmisión, mientras que MAC *(Media Access Control)* es el responsable de proporcionar soporte hasta ocho dispositivos simultáneos conectados al mismo receptor. Finalmente tenemos LLC *(Logical Link Control),* que realiza ciertas funciones de seguridad y retransmisiones en caso de que el envío de información haya fracasado.

Una característica importante de esta técnica de comunicación es su seguridad: Como el infrarrojo, es parte del espectro de luz, no atraviesa paredes. Y como la mayor parte de los dispositivos que incorporan IrDA, tienen un radio de funcionamiento corto, esto significa que cualquier dato que sea intercambiado vía IR, ya sea a una red, a otro ordenador o a una impresora, es seguro. IR, es más seguro que las señales de radio, que pueden ser interceptadas por otros dispositivos de radio.

6.2. PROTOCOLOS IRDA

Las capas en la pila de protocolos IrDA se pueden dividir en dos grupos:

- Protocolos necesarios

- Protocolos opcionales

Las capas necesarias son las siguientes:

- Capa física: especifica características ópticas, codificación de datos, etc.

- IrLAP *(Link Access Protocol)*: Establece la conexión.

- IrLMP *(Link Management Protocol)*: Multiplexa servicios y aplicaciones en la conexión LAP.

- IAS (Information Access Service): Proporciona un servicio de “páginas amarillas” en un determinado dispositivo.

Los protocolos opcionales son:

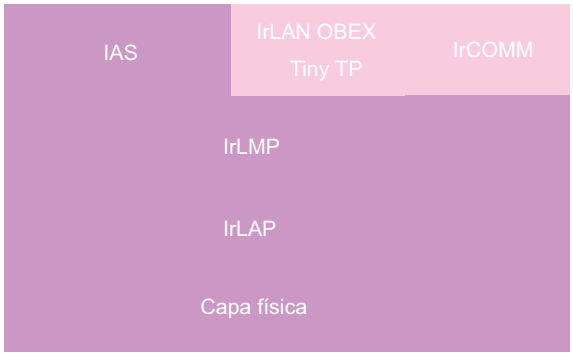
- TinyTP *(Tiny Transport Protocol)*: Añade un control de flujo por canal y es necesario para la mayoría de las aplicaciones.

- IrOBEX *(Object Exchange Protocol)*: Permite que la transferencia de objetos y ficheros se haga de forma sencilla.

- IrCOMM: Este protocolo ofrece la emulación de puerto serie-paralelo, permitiendo que las aplicaciones existentes puedan utilizar IR.

- IrLAN: Este es el protocolo de acceso a la red de área local ■

Figura B18. Estructura de protocolos de IrDA

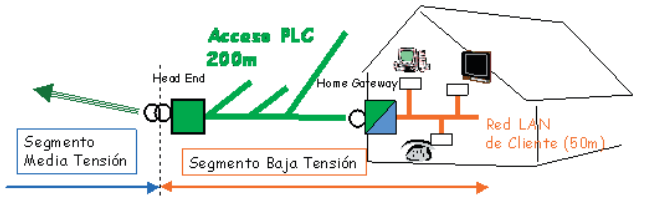


7. PLC *(POWER LINE COMMUNICATIONS)*

PLC hace uso de la red de distribución de energía eléctrica de baja tensión (LV) para constituirse como una alternativa de acceso para proveer conectividad de banda ancha, así como de red local de cliente en el interior de las viviendas. Como solución de acceso, proporciona la conectividad desde un elemento central o head-end, situado en los transformadores de MV a LV y la vivienda o grupo de viviendas. El acceso PLC puede extenderse a la red de MV bajo ciertas condiciones. Para evitar la merma de capacidad es habitual colocar Repetidores (R) si las distancias a cubrir son superiores a los 100 metros aproximadamente. Tanto como tecnologíade acceso como de red local de cliente presenta una topología punto-multipunto entre un elemento central *(Head-End* en acceso, *Home Gateway* en la red local de cliente) y el conjunto de usuarios, si bien en redes locales el MAC se puede programar para funcionamiento *peer-to-peer*.

En este estudio, el PLC se considera solo en su faceta de red de cliente.

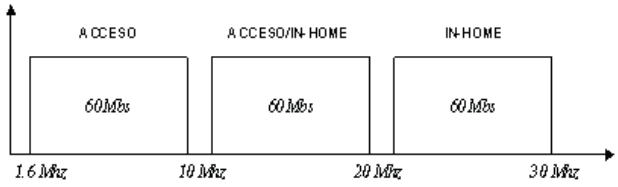
Figura B19. Ambitos de aplicación de la tecnología PLC



7.1. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS:

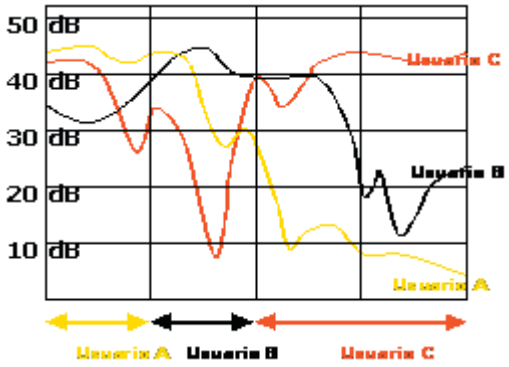
No existe un standard PLC, por lo que las tecnologías PLC disponibles son todas propietarias. El estado del arte ofrece chipsets capaces de proporcionar 180 Mb/s en 30 MHz. En realidad se trata de 3 bloques de 10 MHz (1.6-10), (10-20) y (20-30), en donde se ofrecen 60 Mb/s brutos (up + down) por bloque. Para su uso en redes de cliente se suele usar la banda superior de 20-30 MHz (tendencia recomendada por ETSI) porque a pesar de que el cable eléctrico presenta una mayor atenuación, las distancias a cubrir son suficientemente cortas (< 50 metros) como para hacerlas compatibles con esta banda (los 2 bloques inferiores suelen ubicarse para aplicaciones de acceso). En todo caso, los *chipsets* disponibles en el mercado permiten su programación para poder funcionar en cualquiera de estos 3 bloques.

Figura B20. Bandas de frecuencias utilizadas en PLC



La capa física OFDM ofrece la posibilidad de extraer el mayor partido del canal, habida cuenta de las condiciones tan hostiles de propagación encontradas, con contribuciones importantes de multicamino, atenuación y retardo.

Figura B21. Características del medio de transmisión



Los 60 Mb/s totales pueden programarse para ser distribuidos entre los 2 sentidos de la transmisión en base a un esquema de duplexación TDD con frontera dinámica, lo que posibilita el manejo optimizado de tráfico asimétrico.

Las características mas relevantes a nivel de capa física son: OFDM con posibilidad de ajustar el nivel de energía a transmitir a nivel de subportadora individual (asignación de banda dinámica en función de las condiciones del canal con granularidad a nivel subportadora), periodo de refresco de estimación de canal cada 10 ms, codificación robusta de canal, modulación adaptativa. Estas características garantizan los 60 Mb/s a compartir entre los

nodos de la red local de cliente hasta distancias de 100 metros.

Las mas relevantes a nivel MAC es el programar su funcionamiento topológico (anillo, master/slave o peer-to-peer). Espera flujos Ethernet e IP a nivel superior, por lo que el overhead introducido para procesar flujos de esta naturaleza es mínimo y provee calidad de Servicio (QoS) para acomodar aplicaciones de video, voz sobre IP (VoIP) y acceso a *Internet*.

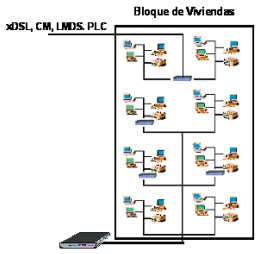
7.2. APLICACIÓN EN CASAS UNIFAMILIARES O BLOQUES DE VIVIENDAS

Su aplicación en casas unifamiliares no plantea ningún problema dado que las distancias son habitualmente inferiores a los 100 metros y todas las estancias del hogar son servidas con la misma fase de 220 V. AC, lo que garantiza la continuidad de la comunicación entre los nodos (o diferentes bases de enchufes)

Además desde un punto de vista de interferencias EMI/EMC la probabilidad de perjudicar a otros vecinos, supuestos éstos alejados en alguna medida, es mucho mas baja que en un escenario de bloque de viviendas.

Su aplicación en bloques de vivienda (comunidades de vecinos) plantea los problemas derivados de la distancia a cubrir (situaciones de mas de 100 metros), de seguridad en las comunicaciones (al ser un medio compartido a nivel físico exige la introducción de separación funcional de LANs con técnicas de manejo de etiquetas VLAN – posible en PLC- mas elementos adicionales de seguridad a capas altas), de continuidad del medio de comunicación en el caso de que no todas las viviendas del bloque sean servidas con la misma fase (exigiría redes PLC para cada fase) y de posibles interferencias EMI/EMC si las distancias entre vecinos son muy cortas.

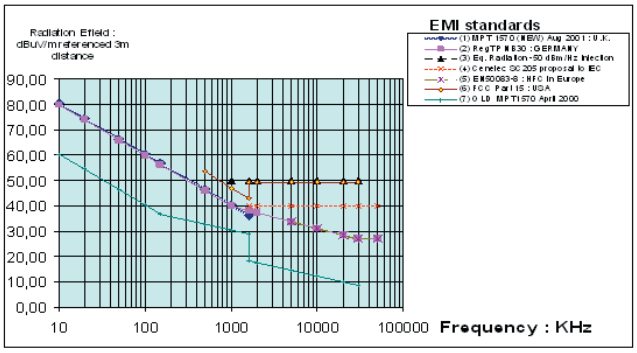
Figura B22. Estructura de una red PLC



7.3. ASPECTOS REGULATORIOS

PLC ha sido y es objeto de amplios debates con respecto a su comportamiento como fuente originaria de problemas de interferencia por su radiación electromagnética. La Figura B23 muestra los niveles definidos en las administaciones nacionales pioneras en Europa (MPT1570 en UK, NB30 en Alemania) para los niveles de radiación (a los que PLC debería someterse), asi como los niveles definidos por la FCC en USA.

Figura B23. Umbrales de EMI impuestos a PLC por diferentes estándares



Se puede observar que la normativa FCC es mucho mas relajada que las europeas. La Union Europea, a través de su mandato M313 intenta establecer unos límites de obligado cumplimiento para todos sus estados miembros, derogando así los límites establecidos a nivel nacional. Sin embargo la definición de los límites e incluso de los procedimientos de pruebas para ver si estos límites se cumplen pueden ser objeto de bastantes mas debates, con lo que todavía puede pasar bastante tiempo antes de que M313 quede determinado y en vigor. En realidad los niveles EMI/EMC de PLC deberían ser del orden de los esperados para el VDSL.

La situación actual en el contexto español, es que a falta de una normativa comunitaria definida, la administración está permitiendo la explotación comercial de PLC como alternativa de acceso y solo cuando se presente algún problema en concreto obligaría a su resolución. El estado del arte de la tecnología PLC permite esta resolución pues se puede variar (incluso cancelar) la emisión de energía a nivel de cada subportadora OFDM individual, lo que garantiza el resolver la situación (a costa de perder capacidad y/o distancia).

7.4. ESTADO COMERCIAL EN ESPAÑA:

Actualmente se está contemplando PLC principalmente para su faceta de acceso. Varias compañías eléctricas se han posicionado para ofrecer servicio de transportista de acceso a operadores de telecomunicación. Las compañías eléctricas garantizan la conectividad entre su punto de presencia (POP), habitualmente a nivel metropolitano, y los cuartos de contadores de los clientes del operador.

Endesa:

Despues de 2 pilotos (Barcelona 2000, Sevilla 2001) probando la tecnología PLC de Ascom y DS2, realiza una prueba masiva en Zaragoza [2100 hogares, 24 meses, 7 anillos de fibra óptica de AUNA, uso de las redes de MV y LV, 140 transformadores de LV (56 con fibra, 84 con PLC MV), provisión de acceso *Internet* de banda ancha + VoIP], que son la base potencial de su primera experiencia comercial. Esta fase comercial se abre de la mano de AUNA el 27 de Noviembre de 2003 a los 2100 participantes en la prueba masiva de Zaragoza, con una oferta de lanzamiento de VoIP + *Internet* a 600 kb/s de 39€ al mes y de VoIP a 6€ al mes, consiguiendo atraer a la mayoría de estos participantes.

El segundo lanzamiento comercial tiene lugar en Barcelona en Febrero de 2004.

Iberdrola:

Prueba durante 4 años la tecnología PLC de *Nams*, *Ascom* y *DS2* antes de ofrecer un piloto precomercial a 200 hogares en Madrid. De la mano de *Neo-Sky* lanza la primera oferta comercial el 15 de Octubre de 2003 ofreciendo acceso a *Internet* de 600 kb/s simétricos y 100 kb/s simétricos a 39€ y 24€ respectivamente. Se plantea un despliegue en fases a lo largo de 2004, comenzando por Madrid en el primer trimestre para luego extender el despliegue a otras regiones españolas (Valencia, etc.) a final de año con el objetivo de alcanzar 30000 clientes.

Fenosa:

Prueba tecnología PLC de Mainnet y DS2, con un piloto de 50 hogares en Madrid, Alcalá de Henares y Guadalajara pero no ha abierto todavía ninguna oferta comercial.

Fabricantes:

Existen varios fabricantes de equipo, siendo los mas relevantes *Ascom*, *Mainnet* y *Easy-Plug*. Los tres han adoptado la tecnología del proveedor español de *chipsets* DS2 para aplicaciones de acceso.

Easy-Plug es una *Joint-Venture* entre *Schneider* y *Thompson*, que han adquirido la tecnología de la compañía Inari para aplicaciones de *home-networking* ■

8. HOMEPLUG

HomePlug es una alianza de varias empresas que trabajan en el desarrollo de una tecnología que permita implementar redes de área local usando la instalación eléctrica de baja tensión de las viviendas, oficinas o industrias, evitando así la instalación de nuevos cables.

Con velocidades que, en su primera versión llega a los 14 Mbps el usuario podrá conectarse a *Internet* desde cualquier zona de la vivienda en donde disponga de una toma eléctrica estándar, consiguiendo así la movilidad y flexibilidad que necesitan la mayoría de los usuarios en sus aplicaciones cotidianas.

La alianza *HomePlug* está formada por más de 80 empresas líderes sectores como el de electrónica de consumo y tecnologías de la información, destacan: Intel, Cisco, Motorola, Panasonic, 3Com, entre otras. La empresa española, con sede en Valencia, DS2 es miembro colaborador.

Hay que destacar que los objetivos de la *HomePlug* es el uso de la red de baja tensión de la vivienda, oficina o SOHO, como soporte físico de una red de área local. En ningún momento se han planteado "estandarizar" esta tecnología para proporcionar servicios de acceso a *Internet* y de voz desde los centros de transformación de las utilities eléctricas.

8.1. UN POCO DE HISTORIA

El circuito se basa en la tecnología PowerPacket™ patentada por *Intellon*, la cual fue escogida en el año 2000 por la asociación *HomePlug* como referencia de su especificación después de evaluar diversas opciones. Cuando se creó esta asociación, por el año 1999, se establecieron unos requisitos mínimos que debía cumplir la tecnología escogida para el *HomePlug*. Poco después se decidió hacer una especie de concurso de méritos, donde las empresas que estuvieran interesadas podrían demostrar en instalaciones reales si podían llegar a alcanzar dichos requisitos. Poco a poco fueron cayendo diversas tecnologías *(Enikia, Adaptive Networks,* etc.…) mientras que la tecnología *PowerPacket* de *Intellon* cumplía con creces los requisitos.

Aunque hay otras tecnologías capaces de obtener prestaciones similares, finalmente la mayor parte de la industria de SW y HW se ha volcado con el *HomePlug*, dando lugar al nacimiento de un estándar de facto en la transmisión de datos de banda ancha por las redes de baja tensión.

8.2. TECNOLOGÍA

Al igual que las recientes tecnologías inalámbricas, el *HomePlug* ofrece al cliente del producto final la posibilidad de conectar en red estos dispositivos sin necesidad de instalar nuevos cables en las viviendas u oficinas, evitando así las engorrosas obras.

Con unas prestaciones que alcanzan los 14 Mbps (dependiendo de la topología de la instalación de baja tensión y de las fuentes de ruido) este circuito sobrepasa con creces las prestaciones que se había marcado la *HomePlug*.

Para garantizar que la solución de comunicaciones es viable en un medio tan hostil como es la red eléctrica, se deben utilizar interfaces de capa física y de acceso al medio suficientemente robustos. Además los protocolos MAC deben asegurar un reparto adecuado de los recursos del medio para permitir el reparto entre los nodos clientes de la red.

La capa física del *HomePlug* utiliza multiplexación por división en frecuencias ortogonales (OFDM). *HomePlug* utiliza esta técnica en modo ráfaga, en lugar de hacerlo de forma continua como por ejemplo en los sistemas de radiodifusión digital. Para aumentar la robustez del sistema también se utiliza protección contra errores de tipo FEC (*Viterbi* y *Reed Solomon* concatenados) para la carga útil y Turbocódigos para las tramas se señalización más sensibles.

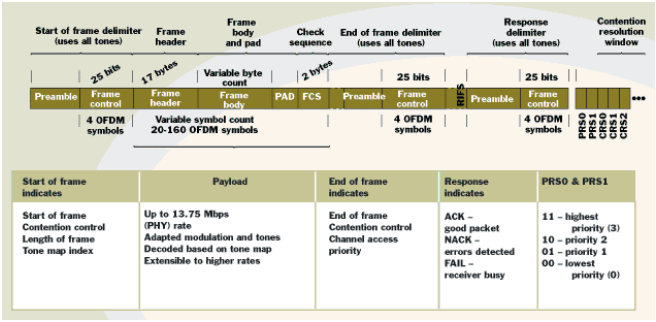
La capa MAC de *HomePlug* es una variante del CSMA-CA (Acceso múltiple por detección de portadora evitando colisiones), a la cual se le han añadido algunas características que permiten la priorización según clases, la igualdad y el control de retardos. La utilización CSMA-CA implica que la capa física debe soportar la transmisión y recepción a ráfagas, es decir cada cliente activa la transmisión sólo en los momentos en los que tiene datos que enviar, y al terminar apaga el transmisor y vuelve al modo de recepción.

En *HomePlug* se elimina la necesidad de receptores coherentes, mediante el empleo de modulación DQPSK.

No se utilizan modulaciones mas eficientes tipo QAM, para evitar la sobrecarga de estimación de canal, estimación de ganancia y de fase de la portadora.

Los paquetes de transporte de datos en *HomePlug*, están formadas por secuencias de símbolos OFDM, y consisten en un delimitador de comienzo de trama, la carga útil y un delimitador de final de trama (vease la Figura B24). En transmisiones *unicast*, la estación de destino responde mediante la transmisión de un delimitador de respuesta que indica el estado de la recepción (ACK, NACK o Fallo).

Figura B24. Formato de transmisión de *HomePlug*



El delimitador consiste en una secuencia de preámbulo seguida de un campo de control de trama codificado con turbocódigo.

La secuencia de preámbulo está elegida por tener buenas propiedades de correlación, lo que permite a todos los receptores detectar el delimitador de manera bastante fiable, incluso en condiciones de mucho ruido y sin tener aun conocida la función de transferencia de canal.

El campo de control de la trama contiene información de gestión de la capa MAC (por ejemplo longitudes de los paquetes, y estado de las respuestas. La baja velocidad de la codificación con turbocodigo (TPC) y el interleaving utilizados, proporcionan al control de trama una buena inmunidad frente a las imperfecciones en banda estrecha así como a las interferencias de banda ancha. Los tres delimitadores tienen la misma estructura, pero los datos que se transportan en el delimitador son diferentes dependiendo de la función.

A diferencia de los delimitadores, la parte de carga útil del paquete esta concebida sólo para la estación de destino. Los datos de la carga útil se transportan sólo en un conjunto de portadoras que han sido previamente acordadas entre el transmisor y el receptor durante la fase de adaptación del canal. Puesto que sólo se utilizan aquellas portadoras que están situadas en la parte favorable de la función de transferencia del canal, no es necesaria la utilización de técnicas de corrección de errores tan fuertes como las utilizadas en las partes de la trama que están destinadas a todos los receptores. Esta combinación de adaptación al canal y aligerado de la codificación para la parte de carga útil unicast, permiten conseguir a *HomePlug*, altas tasas de transferencia de datos a través de la red eléctrica.

La adaptación tiene tres grados de libertad:

- De-selección de portadores como frecuencias en las que hay imperfecciones.
- Selección de la modulación de las portadores individuales (DBPSK o DQPSK).
- Selección de la tasa de codificación convolucional (1/2 o 3/4).

Adicionalmente a estas opciones, la carga útil puede transportarse utilizando el modo ROBO, que es un modo de alta robustez, que utiliza todas las portadoras en modulación DBPSK, protección fuerte frente a errores, repetición de bits e *interleaving*. El modo ROBO no utiliza de-selección de portadoras, con lo que en general puede ser recibido por cualquier estación de la red. Este modo se utiliza para comunicación inicial entre dispositivos que no han realizado adaptación del canal, en las transmisiones multicast, o en transmisiones unicast en los casos en los que el canal es tan pobre que el modo ROBO proporciona mayor capacidad que la de-selección de canales con codificación aligerada.

La capa física de *HomePlug* ocupa la banda desde aproximadamente 4.5 a 21 MHz. La capa física incluye la emisión de menos densidad espectral de potencia en las bandas de radioaficionados para minimizar el riesgo de de energía radiada de la red eléctrica en esos sistemas. La capacidad bruta utilizando modulación DQPSK con todas las portadoras activas es de 20Mbps. La capacidad entregada a la capa MAC por la capa física es de 14Mbps.

Como referencia el mercado de *HomePlug* tenemos el circuito INT5130 de la casa Intellon. Las características mas destacadas de las que informa el fabricante son:

- Máxima velocidad: 14 Mbps, es el circuito integrado con mayores prestaciones del mercado. Esta velocidad, algo mayor que la Ethernet 10BaseT a 10 Mbps, permitirá que infinidad de aplicaciones de *Internet*, streaming, etc, puedan funcionar usando la In stalación eléctrica de la vivienda como medio de comunicación.

- Alta Eficiencia espectral y de ancho de banda: la tecnología *PowerPacket* utiliza modulación OFDM *(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)* la cual, con centenas de portadoras, implementa un control adaptativo al medio ajustándose a las condiciones de ruido y atenuación imperantes en las líneas de baja tensión. Además usa mecanismos de detección y corrección de errores FEC *(forward error correction)* para ocupar el medio lo mínimo posible y obtener las máximas prestaciones de forma global.

- Seguridad extremo a extremo: con mecanismos similares a los que se usan en la industria de los modems de cable, el circuito INT5130 usa el estándar de encriptación de datos con semilla de 56 bits (DES) que impide que terceros, conectados a las misma línea de baja tensión (típico en el mismo bloque de pisos o en la misma calle de viviendas unifamiliares), puedan decodificar la información.

- Escalable: la arquitectura del INT5130's es capaz de llegar a transmitir 100 Mbps siendo además compatible con la versión recién presentada de PowerPacket.

8.3. DISPOSITIVOS COMERCIALES

Existen una gran variedad de suministradores de dispositivos *HomePlug*, la mayoría de ellos ya mencionados en el cuerpo principal de este documento en la sección dedicada a la organización *HomePlug* (www.homeplug.org).

Es de destacar que no todos estos fabricantes tienen desarrollados productos válidos para el mercado europeo (220 VAC), y poseen, actualmente, solo productos para el mercado américano (110 VAC), tal es el caso de la familia de productos Powerline de Belkin Corporation, la familia *SpeedStream* de *Siemens*, o la linea de productos de Netgear (aunque este último fabricante ha sacado recientemente un adaptador *Homeplug-Ethernet*, el modelo XE102GR, válido para el mercado alemán y que funciona con redes electricas a 220 VAC).

En líneas generales, los dispositivos más comunmente extendidos son los adaptadores *HomePlug-Ethernet* (RJ-45) y *HomePlug-USB,* los cuales pueden encontrarse en el mercado a precios que oscilan entre los 50€ y los 100€ dependiendo del fabricante y de las características del producto.

Aunque en menor número, también hay fabricantes que ofrecen routers que incorporan la tecnología *HomePlug (Allnet, Asoka, Corinex, Deneg, GigaFast Ethernet, Linksys, ST&T…*), algunos de ellos pueden incorporar también funcionalidad de modem DSL o cable *(Allnet, Corinex, Deneg, Telkonet,...)*. Los precios de mercado para estos routers y/o módems se sitúan por encima de los 150€ actualmente.

Otro tipo de dispositivo *HomePlug* que puede encontrase entre estos fabricantes es aquel que incorpora la funcionalidad *WiFi* (en la mayoría de los casos mediante la posibilidad de inserción de una tarjeta PCMCIA 802.11b). Tal es el caso de *Allnet, Asoka, Corinex, Deneg, Devolo, Siemens,...* El precio de referencia de este tipo de dispositivos se sitúa por encima de los 130€.

Por último, existen otros tipos de dispositivos *HomePlug* para aplicaciones más específicas como por ejemplo, el modelo MicroLink dLAN Audio de *Devolo,* que permite el transporte de señales de audio a través de la red eléctrica (precio de referencia 150€), o el acoplador de fases *Homeplug* de *Allnet* (precio de referencia 65€).

A continuación se muestra una lista (no exhaustiva) de fabricantes que poseen una oferta de dispositivos HomePlug, válidos para el mercado europeo (230 VAC):

ALLNET

- Routers DSL *Homeplug* (modelos ALL1680 –sin WiFi- y ALL1681 -con WiFi-)

- Adaptador *Homeplug*-Eth (modelo ALL1682)

- Adaptador *Homeplug*-USB (modelo ALL1683)

- Acoplador de fases *Homeplug* (modelo ALL 168x)

ASOKA

- Routers/Bridges *Homeplug* (modelos PL9920-BBR, PL9610-ETH)

- Adaptador Homeplug-Eth (modelos PL9645-ETP, PL9620-ETH, PL9640)

- Adaptador Homeplug-USB (modelos PL9710-USB, 9720-USB)

- Adaptador Homeplug-Wireless (modelo PL9520-WAP)

COGENCY SEMICONDUCTOR INC.

- Adaptador Homeplug-Ethernet (modelo RF1100-EWA)

- Adaptador HomePlug-USB (modelo RF1100-UWA)

CORINEX

- Routers/Modems Homeplug (modelos CPX-RTR y "CableLAN adapter")

- Familia de Adaptadores Homeplug-Eth/USB/Wireless "Intelligent PowerNet"

DENEG

- Familia de Adaptadores Homeplug-Eth/USB/Wireless "EasyHome Net"

- Kit de adpatación HomePlug DSL ("easyHome DSL/net kit")

DEVOLO

- Familia de Adaptadores Homeplug-Eth/USB/Wireless "Microlink dLAN"

- Adaptador HomePlug-Audio (modelo Microlink dLAN Audio)

EDIMAX

- Adaptador Homeplug-Ethernet (modelo HP1002)

- Adaptador HomePlug-USB (modelo HP1001)

GIGAFAST ETHERNET

- Adaptador Homeplug-Ethernet (modelo PE902-EB)

- Adaptadores HomePlug-USB (modelos PE901-UI, PE909-UI)

IOGEAR

- Adaptador Homeplug-Ethernet (modelo GHPB01)

- Adaptador HomePlug-USB (modelo GHPU01)

LINKSYS

- Router Homeplug (modelo PLERT10)

- Adaptadores Homeplug-Eth/USB (Instant Powerline modelos PLEBR10, PLUSB10)

MICRO-STAR INTERNATIONAL (MSI)

- Adaptador Homeplug-Ethernet (modelo MS6821)

- Adaptador HomePlug-USB (modelo EC14H)

NETGEAR

- Adaptador Homeplug-Eth (modelo XE102GR)

OVISLINK

- Adaptador Homeplug-Ethernet (modelo PL-RJ45)

- Adaptador HomePlug-USB (modelo PL-USB)

SMC (Familia "EZ Powerline")

- Adaptador Homeplug-Ethernet (modelo SMCHP1D-ETH)

- Adaptador HomePlug-USB (modelo SMCHP1D-USB)

ST&T

- Adaptadores Homeplug-Ethernet (modelos M51, M53, M58)

- Adaptadores HomePlug-USB (modelos U21, U22, U23)

TELKONET

- Adaptadores-Bridges Homeplug (familia "Plug-Fast") ■

9. HOMEPNA *(HOME PHONELINE NETWORKING ALLIANCE)*

HomePNA (Home Phoneline Networking Alliance) es una alianza de varias empresas que trabajan en el desarrollo de una tecnología que permita implementar redes de área local usando la instalación telefónica de una vivienda.

El objetivo es construir una red de área local sin nuevos cables ni obras que permita unir ordenadores, impresoras y otros recursos como hubs específicos, routers ADSL o pasarelas residenciales.

Al igual que la tecnologías de bucle de acceso xDSL, la *HomePNA* usa el ancho de banda libre de los cables telefónicos de la vivienda para inyectar su señal modulada por encima de los 2 MHz. La voz usa la banda comprendida entre 100 Hz y 3,4 kHz, los sistemas xDSL ocupan las frecuencias comprendidas entre 25 kHz y 1,1 MHz. Gracias al uso filtros en las propias tarjetas de acceso o en la tomas telefónicas, se puede usar simultáneamente el teléfono, el acceso xDSL y la red de área local HomePNA.

Al igual que xDSL, el *HomePNA* usa modulación FDM *(Frequency Division Multiplexing)* formadas por multitud de portadoras ocupando un gran ancho de banda.

HomePNA es una iniciativa desarrollada para el mercado norteamericano, donde la mayoría de las viviendas tienen una toma telefónica en cada habitación. En Europa su penetración es escasa ya que, en el mejor de los casos, solo hay 2 o 3 tomas por vivienda. Además han aparecido problemas de compatibilidad entre la tecnología *HomePNA* y la de bucle de acceso VDSL que desaconsejan el uso extendido de la primera con objeto de evitar los problemas cuando se realicen despliegues masivos de VDSL.

Se ha estimado que los europeos, cuando necesiten construir una red de área local sin hacer obras ni pasar nuevos cables, recurrirán a tecnologías inalámbricas como el *WiFi* y en menor medida, a tecnologías de ondas portadoras por la red de baja tensión como el *HomePlug* ■

10. HOMERF

El *HomeRF Working Group* fue una iniciativa de varias empresas que se unieron en el año 1998 para crear una tecnología de transmisión digital inalámbrica abierta. El objetivo es que ordenadores, impresoras, teléfonos, modems y cualquier otro dispositivo digital pudiera intercambiar datos sin necesidad de usar cables.

Una de las aplicaciones más interesantes es la capacidad de distribuir vídeo y audio (aplicaciones de streaming) en dispositivos con escasos recursos hardware, como los equipos HiFi, y los que además son móviles por diseño como las agendas personales o tabletas electrónicas. La idea es que los PCs o las pasarelas residenciales sean los centros de descarga de canciones o películas vía *Internet* y que la tecnología *HomeRF* sea el soporte que distribuya estas a los dispositivos finales que las reproducirán.

Bajo el nombre de SWAP *(Shared Wireless Access Protocol)* definieron una arquitectura que soporta comunicaciones de datos y voz en tiempo real. Alcanza y una velocidad de 10 Mbps aunque se puede reducir a 5 Mbps o menos si se necesita aumentar el rango de cobertura.

Con características de tiempo real, esta tecnología puede proporcionar varios canales de voz para telefonía, por lo que se ha dicho es una evolución del DECT europeo *(Digital European Cordless Telephone)*.

Esta es la mayor ventaja del *HomeRF*, gracias a el diseño de su nivel de acceso al medio, esta tecnología puede garantizar al acceso simultáneo por voz de diversos usuarios a una centralita o teléfono digital inalámbrico. Bluetooth sólo puede garantizar una conversación de voz, mientras que el *WiFi* (802.11b) a pesar de su ancho de banda (10 Mbps) no cumple - de momento y hasta la aparición del 802.11e - con determinismo la respuesta temporal necesaria para aplicaciones de audio.

Al igual que *Bluetooth* y *WiFi*, la *HomeRF* usa la banda de frecuencia de 2,4 GHz para colocar su señal modulada.

La mayoría de los productos vendidos hasta mediados del 2001 sólo alcazanban los 1,6 Mbps, pero a partir de esa fecha empezaron a salir los primeros dispositivos que trabajan a 10 Mbps, e incluso algunos de tercera generación, con velocidades de 20 Mbps garantizando la compatibilidad con versiones anteriores.

A pesar de ello la penetración del mercado de esta tecnología no ha obtenido el éxito previsto inicialmente, lo cual ha ido en beneficio de -o quizá ha sido debido a otras tecnologías radio como *Bluetooth* o *WiFi*, cuyo auge si puede constatarse ■

11. HIPERLAN

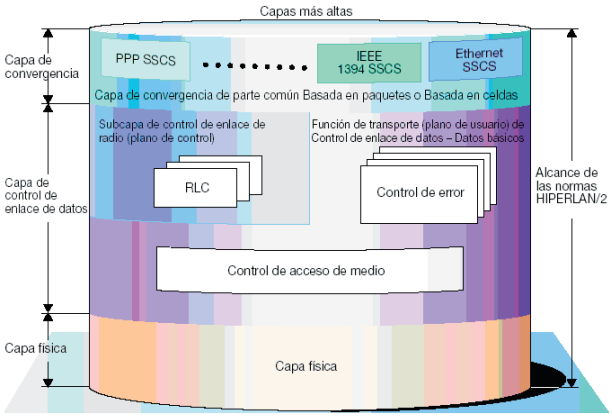
HiperLAN2 (acrónimo de "*HIgh PErformance Radio Local Area Network"*), es un estándar de la ETSI que especifica una red de acceso inalámbrico. Para dar mayor impulso a la tecnología, se ha creado el *HiperLAN2 Global Forum,* que agrupa a empresas como *Mitsubishi, Panasonic, Philips, Rhode & Schwartz, Sharp, Sony, Thomson, Toshiba, Nokia, Texas Instruments, Dell, Bosch, Ericsson, Xircom,* etc.

El nombre oficial de la tecnología es "HiperLAN tipo 2", pero se suele abreviar como HiperLAN/2 ó HiperLAN2.

11.1. RESUMEN TÉCNICO

La norma *HiperLAN2* especifica una red de acceso de radio que se puede usar con una variedad de núcleos de la red. Esto se hace posible gracias a una arquitectura flexible que define las capas físicas independientes de núcleo de la red (PHY) y de control de enlace de datos (DLC); y un juego de capas de convergencia que facilitan el acceso a distintos núcleos de la red (Figura B25).

Figura B25. Estructura de protocolos de HiperLAN 2


Capas más altas
Capa de convergencia
PPP SSCS
IEEE 1394 SSCS
Ethernet SSCS
Capa de convergencia de parte común Basada en paquetes o Basada en celdas
Subcapa de control de enlace de radio (plano de control)
Función de transporte (plano de usuario) de Control de enlace de datos – Datos básicos
Capa de control de enlace de datos
RLC
Control de error
Alcance de las normas HIPERLAN/2
Control de acceso de medio
Capa física
Capa física

Varias capas de convergencia han sido o están siendo definidas actualmente para interoperar con:

- redes de transporte de protocolo *Internet* (IP) (Ethernet y el protocolo de punto a punto, PPP);
- redes basadas en modo asíncrono de transferencia (ATM);
- núcleos de la red de tercera generación; y
- redes que usan protocolos y aplicaciones IEEE 1394 *(Firewire).*

Las unidades de datos que se transmiten dentro de estos núcleos de la red pueden diferenciarse en longitud, tipo, y contenido.

Una capa de convergencia específica en HiperLAN2 segmenta unidades de datos a unidades de datos de servicio de usuario (U-SDU) de longitud fija HoperLAN2 DLC que se transmiten a su destino por medio de servicios de transporte de datos DLC y PHY.

La norma HiperLAN2 apoya la movilidad de terminales a velocidades de hasta 10 m/s. Además da un medio de manejar distintos ambientes de interferencia y propagación, con el objetivo de:

- mantener el enlace de comunicaciones a bajas proporciones de señal a interferencia;
- mantener la calidad de servicio; y
- encontrar una reciprocidad apropiada entre extensión de comunicaciones y tasa de datos.

El interfaz de aire de la norma *HiperLAN2* está basado en duplex con división en el tiempo (TDD) y acceso dinámico de multiplexación por división en el tiempo (TMA). *HiperLAN2* es una plataforma flexible en la que se pueden basar una variedad de aplicaciones comerciales y de multimedia de hogar para dar tasas de datos de hasta 54 Mbit/s.

En un escenario comercial típico, un terminal móvil recibe servicios por una infraestructura comercial o pública fija. Además de calidad de servicio, la red da a los terminales móviles servicios de seguridad y de gestión de movilidad cuando se mueven entre redes - por ejemplo, cuando los terminales se mueven entre redes de área local y de área amplia o entre redes empresariales y públicas -. En un escenario de aplicación de residente se apoya una red de bajo costo y flexible para interconectar dispositivos de consumidor digitales inalámbricos.

HiperLAN2 depende de una topología de red celular en combinación con una capacidad de *red ad hoc*. Apoya dos

modos de operación básicos: modo centralizado (CM) y modo directo (DM).

- El modo de operación centralizado se aplica a la topología de red celular donde cada celda de radio es controlada por un punto de acceso (AP) que cubre una cierta área geográfica. En este modo se comunican los terminales móviles entre sí o con el núcleo de la red por medio del punto de acceso. El modo de operación centralizado es usado principalmente en aplicaciones comerciales de interior y de exterior donde el área que se ha de cubrir es más grande que una celda de radio.

- El modo de operación directo se aplica a la topología de *red ad hoc* de ambientes de hogar privados y donde todo el área que sirve se cubre por una celda de radio. Los terminales móviles en una red de residente de celda única pueden intercambiar datos directamente entre sí en este modo. El punto de acceso controla la asignación de recursos de radio a los terminales móviles.

11.2. CAPA DE CONVERGENCIA

La capa de convergencia (CL) tiene dos funciones principales: adapta solicitudes de servicio de capas más altas al servicio ofrecidas por el DLC, y convierte paquetes de capa más alta de longitud fija o variable a una unidad de datos de servicio de longitud fija (SDU) que se usa dentro del DLC.

La capa de convergencia traduce así los datos de entrada a distintos portadores del DLC. Por ejemplo, si suponemos que la calidad de servicio *Ethernet* es apoyada por medio de IEEE 802.1p, entonces la prioridad indicada en el campo de identificación adicional estipula el tipo de tráfico que se debe llevar en el paquete.

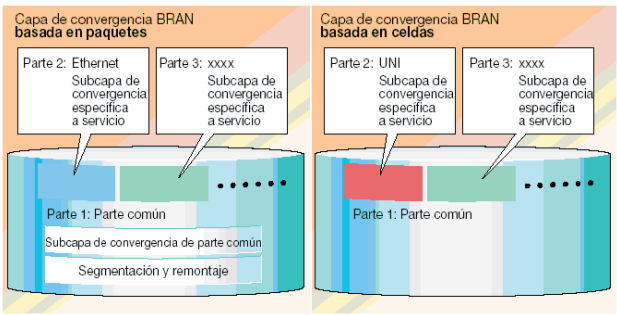
La capa de convergencia traduce distintos tipos de tráfico a distintas clases y por consiguiente a distintos portadores de radio. Hay dos tipos de capa de convergencia:

- una capa de convergencia basada en celda, que maneja capas más altas con paquetes de longitud fija – por ejemplo, núcleos de la red basados en ATM; y

- una capa de convergencia basada en paquetes, que maneja capas más altas con paquetes de longitud variable – por ejemplo, Ethernet.

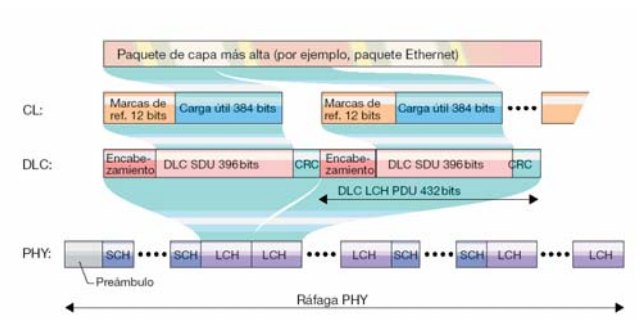
Se han definido subcapas de convergencia separadas específicas a servicio (SSCS) para hacer la adaptación de servicio apropiada para Ethernet, IEEE 1394, PPP, y el sistema universal de telecomunicaciones móviles (UMTS). La Figura B26 describe la estructura básica de cada tipo de capa de convergencia.

Figura B26. Estructura de la capa de convergencia en Hiperlan 2


Capa de convergencia BRAN
basada en paquetes
Parte 2: Ethernet
Subcapa de convergencia específica a servicio
Parte 3: xxxx
Subcapa de convergencia específica a servicio
Parte 1: Parte común
Subcapa de convergencia de parte común
Segmentación y remontaje
Capa de convergencia BRAN
basada en celdas
Parte 2: UNI
Subcapa de convergencia específica a servicio
Parte 3: xxxx
Subcapa de convergencia específica a servicio
Parte 1: Parte común

La función de relleno, segmentación y remontaje de las unidades de datos de servicio DLC de longitud fija es una característica clave que hace posible normalizar e implementar las capas DLC y PHY independientemente del núcleo de la red. La Figura B27 describe la traducción de unidades de datos de capa más alta hasta las ráfagas PHY. Para transmisión, las unidades de datos en la capa DLC son unidades de datos en paquete (PDU) de canal de transporte largo (LCH); para mensajes de control se usan PDUs de canal de transporte corto.

Figura B27. Estructura de paquetes en Hiperlan 2



11.3. CAPA DLC

La capa DLC consiste de una subcapa de controlde enlace de radio (RLC), un protocolo de control de error (EC), y un protocolo MAC.

■ Subcapa RLC

El RLC maneja tres funciones principales de control:

1 .La función de control de asociación es usada para autenticación, gestión de clave, asociación, desasociación, y germen de encriptación.

2. La función de control de recursos de radio (RRC) gestiona el traspaso (solución genérica), selección dinámica de frecuencia, terminal móvil activo / ausente, economización de potencia, y control de potencia.

3. La función de control de conexión de usuario DLC establece y desconecta conexiones de usuario, multidifusión y difusión.

En resumen se usa el RLC para intercambiar datos en el plano de control entre un punto de acceso y un terminal móvil – por ejemplo, el terminal móvil forma asociaciones con el punto de acceso por medio de señalización RLC. Después de terminar el proceso de asociación, el terminal móvil puede solicitar un canal de control dedicado para establecer portadores de radio. Los portadores de radio se refieren como conexiones DLC dentro de la especificación *HiperLAN2*.

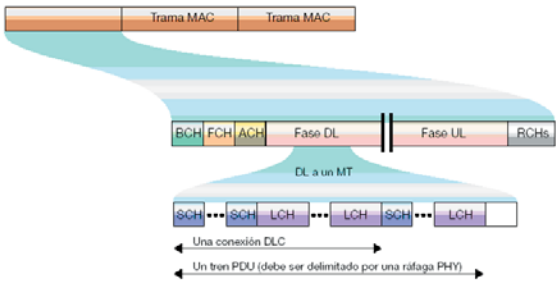
El terminal móvil podría solicitar hasta conexiones múltiples DLC, donde cada una ofrece apoyo único para calidad de servicio (QoS) como es determinado por el punto de acceso. No es necesario que el establecimiento de la conexión resulte en una asignación inmediata de capacidad por el punto de acceso. El terminal móvil recibe en vez una dirección DLC única que correponde a la conexión DLC.

■ MAC

La estructura básica de trama en el interfaz de aire tiene una duración fija de 2 ms y comprende campos para control de difusión, control de trama, control de realimentación de acceso, transmisión de datos en el enlace descendente y el enlace ascendente, y acceso aleatorio (Figura B28).

Durante la comunicación de enlace directo contiene la trama un campo de enlace directo adicional (que no se muestra en la Figura B28). La duración del control de difusión es fija, mientras que la duración de otros campos se adapta dinámicamente a la situación del tráfico. El canal de difusión (BCH), que contiene información de control que se envía en cada trama MCA, permite principalmente el control de recursos de radio. El canal de trama (FCH) contiene una descripción exacta de la asignación de recursos dentro de la trama MAC actual. El canal de realimentación de acceso (ACH) transmite información sobre intentos anteriores de acceso aleatorio. El tráfico de enlace descendente o enlace ascendente consiste de datos a o de terminales móviles. El tráfico de conexiones múltiples a o de un terminal móvil puede ser multiplexado a un tren PDU, donde cada conexión contiene LCHs de 54 octetos para datos y SCHs de 9 octetos para mensajes de control.

Figura B28. Estructura básica de la trama de Hiperlan 2



HIiperLAN2 apoya antenas (sectores) de haces múltiples como un medio de mejorar el presupuesto de enlace y de reducir la interferencia en la red de radio. El protocolo MAC y la estructura de trama en HiperLAN2 apoya antenas de haces múltiples con hasta ocho haces (que no se muestran en la Figura 7). Cuando un terminal móvil tiene datos para transmitir a una cierta conexión DLC, debe solicitar capacidad primero enviando una solicitud de recurso (RR) al punto de acceso. La solicitud de recurso contiene el número de PDUs LCH pendientes en el terminal móvil para la conexión DLC concreta. Con base en un sistema de segmentos, el terminal móvil puede usar segmentos de emulación para enviar el mensaje RR. Al variar el número de segmentos de emulación (canales de acceso aleatorio, RCH), el punto de acceso puede reducir el retardo de acceso. Si ocurre una colisión, se envía información al terminal móvil en el ACH de la trama MAC siguiente. El terminal móvil rebaja después un número aleatorio de segmentos de acceso.

Después de haber enviado la solicitud de recurso al punto de acceso, el terminal móvil entra en un modo sin emulación donde se programa para oportunidades de transmisión (enlace ascendente y enlace descendente). La programación de recursos se lleva a cabo en el punto de

acceso – un controlador centralizado permite un apoyo eficaz QoS. El punto de acceso podría hacer una interrogación secuencial el terminal móvil de tiempo a tiempo para obtener información sobre PDUs pendientes. Del mismo modo, el terminal móvil podría informar al punto de acceso sobre su estado al enviar una solicitud de recurso por medio del RCH.

■ Funciones de red de radio y apoyo QoS

La norma *HiperLAN2* define las mediciones y la señalización que apoyan a un número de funciones de red de radio, incluyendo la selección dinámica de frecuencia, la adaptación de enlace, traspaso, antenas de haces múltiples, y control de potencia. Los algoritmos son específicos al vendedor. Las funciones apoyadas de red de radio permiten la instalación celular de sistemas HiperLAN2 con cobertura completa y altas tasas de datos en una variedad de ambientes. El sistema asigna frecuencias automáticamente a cada punto de acceso para comunicación – la selección dinámica de frecuencia (DFS) permite que varios operadores puedan compartir el espectro disponible y evita el uso de frecuencias interferidas. La selección de frecuencia está basada en mediciones de interferencia realizadas por el punto de acceso y terminales móviles asociados. La calidad del enlace de radio, que depende del ambiente de radio, cambia con el tiempo y de conformidad con el tráfico en las celdas de radio circundantes. Para hacer frente a las variaciones se aplica un programa de adaptación de enlace: la adaptación del modo de capa física – o sea, la tasa de código y el programa de modulación – está basada en mediciones de calidad de enlace. La adaptación de enlace se usa en el enlace ascendente y en el enlace descendente.

El punto de acceso mide la calidad del enlace en el enlace ascendente e indica en el FCH, cuál modo PHY debe usar el terminal móvil para la comunicación de enlace ascendente.

El terminal móvil mide del mismo modo la calidad en el enlace descendente y sugiere, en cada solicitud de recurso señalizada al punto de acceso, un modo PHY para comunicación de enlace descendente. El punto de acceso selecciona el modo final PHY tanto para el enlace ascendente como para el enlace descendente. El control de potencia de transmisor es apoyado en el terminal móvil (enlace ascendente) y el punto de acceso (enlace descendente). El control de potencia en el terminal móvil es usado principalmente para simplificar el diseño del receptor del punto de acceso, al evitar el control automático de ganancia. El control de potencia en al punto de acceso ha sido introducido principalmente para propósitos reguladores, para reducir la interferencia a otros sistemas en la misma banda.

HiperLAN2 apoya calidad de servicio al permitir que el punto de acceso pueda establecer y gestionar distintos portadores de radio durante la transmisión. El punto de acceso selecciona el modo apropiado de control de error (confirmado, no confirmado y repetición) e incluso regula otros detalles del protocolo (por ejemplo, tamaño de ventana ARQ, número de retransmisiones, descartes). La programación se realiza al nivel MAC, donde el punto de acceso determina cuántos datos y qué señalización de control serán enviados en la trama MAC actual.

Por ejemplo, al hacer una interrogación secuencial con regularidad a un terminal móvil sobre su estado de tráfico (datos pendientes a ser transmitidos), el punto de acceso da al portador de radio del terminal un retardo de acceso corto. El mecanismo de interrogación secuencial da un acceso rápido para servicios de tiempo real. El apoyo adicional QoS incluye adaptación de enlace y funciones internas (mecanismos de admisión, congestión y derivación) para evitar situaciones de sobrecarga.

11.4. CAPA FÍSICA

Las unidades de datos que se han de transmitir por medio de la capa física de *HiperLAN2* son ráfagas de longitud variable. Cada ráfaga consiste de un preámbulo y un campo de datos. El campo de datos se compone de un tren de PDUs SCH y LCH que han de ser transmitidas o recibidas por un terminal móvil. La multiplexación ortogonal de división de frecuencia (OFDM) ha sido seleccionada como el programa de modulación modulación para *HiperLAN2*, debido a un buen comportamiento en canales muy dispersivos. En términos de sensibilidad y comportamiento al estar sometido a una interferencia de cocanal a una tasa de bits de 25 Mbit/s, la OFDM supera en comportamiento a la modulación de portador único por 2 a 3 dB. La modulación de portador único no puede apoyar tasas altas de bit de forma eficaz – este es un factor importante, ya que se exige que *HiperLAN2* apoye tasas de bit mucho más altas. Un inconveniente con OFDM es la rebaja de potencia de amplificador, que afecta la cobertura. La rebaja de amplificador de potencia relacionada con OFDM es de 2 a 3 dB más grande que la de una modulación de portador único, para la máscara de espectro que se ha especificado para *HiperLAN2*. Sin embargo, en términos de cobertura, se compensa esta ”debilidad” de OFDM por una sensibilidad más grande. El consumo

de potencia en terminales móviles, que también es afectado por la rebaja de potencia de amplificador, debe ser considerado junto con el consumo de potencia reducido en el receptor OFDM; y la relación de tráfico de enlace descendente y de enlace ascendente, que se espera que sea muy asimétrica.

Con base en estos y en otros argumentos, se prefiere la OFDM al comparar con la modulación de portador único. Se ha seleccionado un cuadriculado de canal de 20 MHz para dar un número razonable de canales en un ancho de banda de 100 MHz, que podría ser el ancho de banda más angosto de sistema continuo que se encuentra disponible (por ejemplo, en Japón).

Para evitar frecuencias mezcladas no deseadas en las implementaciones, es también de 20 MHz la frecuencia de muestreo (a la capacidad de una transformación Fourier rápida inversa de 64 puntos, IFFT, en el modulador). El espaciamiento de subportador obtenido es de 312.5 kHz.

Para facilitar la implementación de filtros y para alcanzar una supresión de canal adyacente suficiente, se usan 52 subportadores por canal; 48 subportadores llevan datos y 4 son pilotos que facilitan la desmodulación coherente. La duración del prefijo cíclico es de 800 ns, lo que es suficiente para permitir un buen comportamiento en canales con una extensión de retardo de raíz cuadrada de la media de los cuadrados de por lo menos 250 ns. Se puede usar un prefijo opcional cíclico corto con 400 ns para aplicaciones de interior y de corto alcance.

Una característica clave de la capa física es que da varios modos de capa física con distintas tasas de codificación y programas de modulación, que se seleccionan por adaptación de enlace. La capa física apoya la manipulación de cambio de fase binaria y cuaternaria (BPSK, QPSK) así como la modulación de amplitud de cuadratura 16ava (16QAM) para la modulación de subportador. 64QAM se puede usar además como un modo opcional.

La corrección de error hacia adelante (FEC) se realiza por un código convolucional con una tasa de 1/2 y longitud de restricción 7. Las tasas de código 9/16 y 3/4 se obtienen por medio de perforación. Los modos de capa física son elegidos de manera tal que el número de bits de potencia de codificador corresponda a un número entero de símbolos OFDM. Para acomodar bits de cola se aplica una perforación dedicada apropiada antes de perforar la secuencia de bit codificada. Se han especificado siete modos de capa física (Tabla B5).

Tabla B5. Modos de funcionamiento de la capa física de hiperlan 2

Modo	Modulación	Intensidad de codificación	Velocidad bruta en la capa física
1	BPSK	1/2	6 Mbit/s
2	BPSK	3/4	9 Mbit/s
3	QPSK	1/2	12 Mbit/s
4	QPSK	3/4	18 Mbit/s
5	16QAM	9/16	27 Mbit/s
6	16QAM	3/4	36 Mbit/s
7	64QAM	3/4	54 Mbit/s

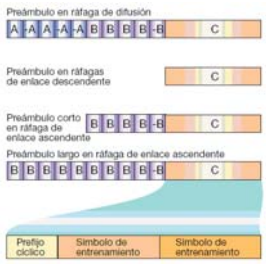
Seis de los modos de capa física son obligatorios; 64QAM es opcional. Cada ráfaga de capa física incluye un preámbulo, del cual hay tres tipos para:

- el canal de control de difusión;
- otros canales de enlace descendente; y
- el canal de enlace ascendente y el de acceso aleatorio.

El preámbulo de las ráfagas opcionales de enlace directo es idéntico al preámbulo del enlace ascendente largo. El preámbulo en el canal de canal de control de difusión permite la sincronización de trama, el control automático de ganancia, la sincronización de frecuencia, y la estimación de canal.

Por contraste, se usa el preámbulo en ráfagas de tráfico de enlace descendente sólo para la estimación de canal. Las ráfagas de tráfico de enlace ascendente y las ráfagas de acceso aleatorio permiten la estimación de canal y de frecuencia. Por lo tanto hay varios preámbulos con distintas estructuras y longitudes (Figura B29, Cuadro B). Dependiendo en sus capacidades de receptor, puede elegir el punto de acceso entre dos preámbulos de enlace ascendente.

Figura B29. Preámbulos en Hiperlan 2



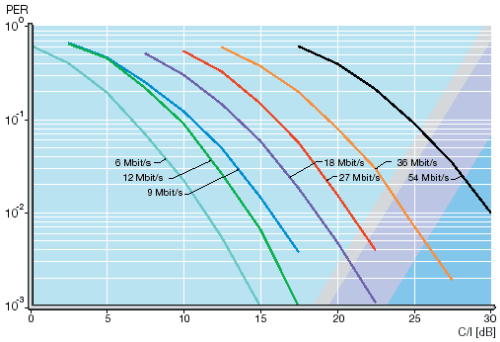
Cada preámbulo es obligatorio para el terminal móvil. El comportamiento de la sincronización inicial –o sea, cuando los terminales sincronizan al preámbulo BCH se caracteriza por la probabilidad de detección de avería y la probabilidad de alarma falsa. Los resultados de simulación muestran que hasta en un escenario de peor caso (relación de potencia baja de señal a ruido de 5 dB, un canal de desvanecimiento muy dispersivo con una extensión de retardo de 250 ns, y una compensación de frecuencia de 40 ppm), es de 96 % la probabilidad de una sincronización con éxito. HiperLAN2 da, de esta manera, un medio de sincronización rápido, eficaz y robusto.

11.5. COMPORTAMIENTO DE ENLACE

El régimen de error PDU (PER) – que se da de forma conveniente como una función de relación de potencia de portador a interferencia (C/I) en sistemas limitados de interferencia – da una medida apropiada del comportamiento para la comunicación de datos en paquetes. Durante la normalización se han desarrollado modelos de canales para la simulación de enlaces, de mediciones en ambientes típicos de interior y de exterior.

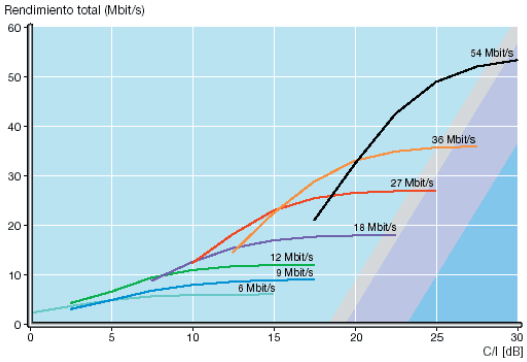
Los perfiles de retardo de potencia muestran una declinación exponencial. Las derivaciones de canal son estadísticamente independientes con distribución Gaussiana compleja y media cero (con la excepción de la derivación de canal Riceano). El canal modelo ”A” (usado para las simulaciones discutidas abajo) caracterizan ambientes de oficinas grandes con propagación sin línea visual. La Figura B30 muestra el régimen de error PDU de LCH para todos los modos de capa física. Como se puede esperar aumenta el C/I que se exige para un cierto régimen de error con la tasa de bits. Sólo el modo de 9 Mbit/s se comporta de modo distinto.

Figura B30. Tasa de error de paquetes según los modos de funcionamiento



Un cálculo simple del rendimiento total del enlace ideal que se puede lograr es r (1 – PER), para un modo con una tasa de bits de r (Mbit/s). La Figura B31 muestra los resultados para cada modo ■

Figura B31. Rendimiento del sistema en Mbps



12. ETHERNET

Es, sin lugar a dudas, la tecnología más extendida y de mayor difusión en todo el mundo para la implementación de redes de área local.

Ethernet gestiona el intercambio de datos entre ordenadores pudiendo usar diferentes protocolos como TCP/IP, *Netware, AppleTalk*, VINES, etc. Pero el más extendido es la pila de protocolos TCP/IP *(Transport Control Protocol/Internet Protocol)*. Se trata de un modelo práctico, implementado en la actualidad a nivel mundial, siendo el soporte no sólo para la intercomunicación de todo tipo de redes, si no también la base sobre la que se ha desarrollado esa gran red mundial de comunicaciones: *Internet*.

12.1. TECNOLOGÍA

El modelo de referencia TCP/IP y la pila de protocolo TCP/IP hacen que sea posible la comunicación entre dos computadores, desde cualquier parte del mundo, a casi la velocidad de la luz. TCP/IP es compatible con cualquier sistema operativo y con cualquier tipo de hardware, proporcionando una abstracción total del medio.

El Departamento de Defensa de EE.UU. creó el modelo TCP/IP porque necesitaba una arquitectura que pudiera conectar múltiples redes y que tuviera la capacidad de mantener conexiones aun cuando una parte de la subred esté dañada o perdida, lo que podría ocurrir por ejemplo en caso de una guerra nuclear. Este problema de diseño de difícil solución fue lo que llevó al desarrollo del proyecto ARPANET, promovido y financiado por el DARPA *(Defense Advanced Research Projects Agency),* sección del Departamento de Defensa dedicada a la investigación. Dicho proyecto comenzó en los años 60, y en 1972 surgió de él el modelo de comunicación entre ordenadores de diferentes redes basado en el intercambio de paquetes.

En la creación de dicho modelo de comunicación estaban implicadas varias universidades americanas, que modificaron el mismo creando un sistema propio, que pasó a llamarse *Internet*ting, que cuando se fue ampliando a redes cada vez mayores se transformó en *Internet*. Y su base fué el modelo TCP/IP, que desde entonces se transformó en el estándar a partir del cual se desarrolló la Red de redes. El modelo TCP/IP está basado en el tipo de red *packet-switched (*de conmutación de paquetes), y tiene cuatro capas: la capa de aplicación, la capa de transporte, la capa de *Internet* y la capa de red.

12.2. CABLEADO ESTRUCTURADO *(HOME NETWORKING)*

Las redes de área local con *Ethernet* pueden ser implementadas de diversas formas. Con tecnología en bus usando cables coaxiales (versiones grueso y fino) y velocidades de 10 Mbps (normas 10Base5 y 10Base2, respectivamente).

Pero la opción más difundida en edificios de oficinas es la del cableado estructurado con cables de pares trenzados de bajo coste. Con el nombre de 10Base-T, define una topología en estrella y usa dispositivos intermedios como hubs o switchs para unir dos o más ordenadores aunque en la actualidad 100Base-T está adquiriendo mayor protagonismo.

12.3. CABLEADO *ETHERNET*

Para el despliegue de cableados *Ethernet* se ha de seguir la norma ISO/IEC 11801, 2nd edition: *"IT Cabling for customer premises"*. En esta norma se describen los tipos de cables y conectores a utilizar en el despliegue de cableados estructurados, tanto para el caso de cable metálico como para fibra óptica.

Los tipos principales de cables de par trenzado utilizados comúnmente en redes *Ethernet* son los siguientes (atendiendo a sus características constructivas):

Tabla B6. Clasificación de los cables según su construcción

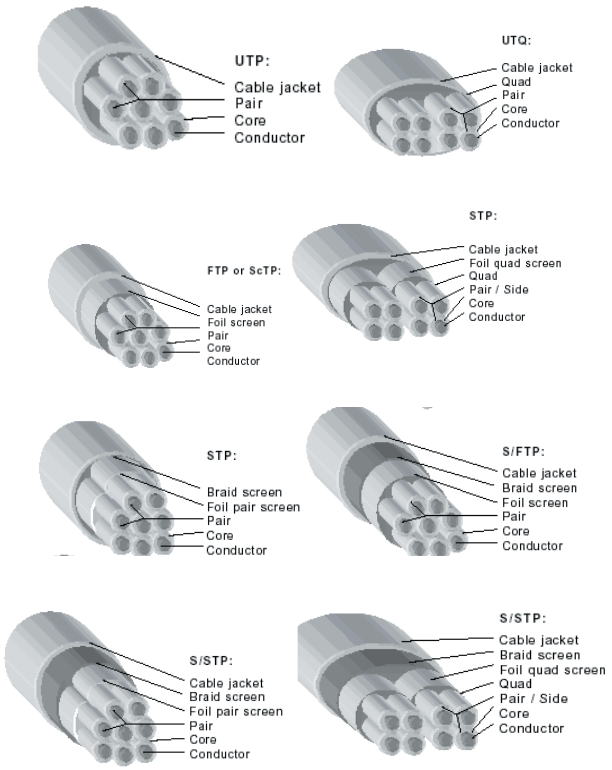
Tipo	Nº elementos del cable (par o cuadrete)	Apantallamiento general con malla S/)	Apantallamiento general con lámina (F or F/)	Apantallamiento con lámina en cada elementos individual (S)
UTP	1 a n	no	no	no
STP	1 a n	no	no	si
FTP[1]	2 a n	no	si	no
S/UTP	1 a n	si	no	no
F/STP[2]	1 a n	no	si	si
S/FTP	1 a n	si	si	no
S/STP	1 a n	si	si[2] o no	si

[1] "F" como en "FTP" y "Sc" como en "ScTP" son denominaciones que se pueden utilizar de forma indistinta.

[2] Este tipo de construcción no se usa habitualmente

En la siguiente figura se ilustra la estructura de los cables según la norma ISO/IEC.

Figura B32. Estructura de los cables mas utilizados en *Ethernet*



Atendiendo a la respuesta en frecuencia, los cables se clasifican en clases como sigue:

- Clase A, hasta 100KHz.
- Clase B, hasta 1MHz.
- Clase C, hasta 16MHz.
- Clase D, hasta 100MHz.
- Clase E, hasta 250MHz.
- Clase F, hasta 600MHz.

Según sus prestaciones, los cables se clasifican en Categorías, de esta forma tenemos las categorías 5, 6 y 7, que se corresponden con las clases D, E y F, respecto a la respuesta en frecuencia.

Atendiendo al tipo de red *Ethernet*, tendremos en resumen las siguientes características:

Gigabit Ethernet (por cobre), 1000baseT

Velocidad: 1000 Mbps
Longitud máxima: 100 Metros
Cable: UTP, Conectores RJ-45

Fast Ethernet, 100baseT

Velocidad: 100 Mbps
Longitud máxima: 100 Metros
Cable: UTP, Conectores RJ-45

Ethernet por par trenzado, 10baseT

Velocidad: 10 Mbps
Longitud máxima: 100 Metros
Cable: UTP, Conectores RJ-45

Ethernet cable fino, 10 base 2

Velocidad: 10 Mbps
Longitud máxima: 185 Metros
Cable: RG-58 tipo coaxial, 50 ohm

Ethernet cable grueso, 10 base 5

Velocidad: 10 Mbps
Longitud máxima 500 Metros
Cable: RG-58 tipo coaxial, 50 ohm

Las distancias horizontales máximas recomendadas para las instalaciones de todos estos tipos de redes también están recogidas en la norma. En las instalaciones de home network se suele utilizar redes de tipo 100BASE-TX para las cuales lo mas adecuado es el cable UTP categoría 5. En general las distancias máximas (independientemente del fabricante) se pueden resumir de la siguiente forma:

- La distancia máxima absoluta entre los extremos transmisor y receptor Ethernet en los extremos absolutos de la red es de 100m. Esta limitación proviene de las restricciones de temporización de las señales Ethernet, y no tanto de las características del cable, y por tanto es una restricción firme y fija que hay que respetar.

- Si se excluyen los latiguillos, interconexiones, etc, la distancia máxima horizontal del cable debe ser 90m. Esta distancia se refiere a la que hay entre el panel de latiguillos y la roseta de la pared con tramo continuo del núcleo del cable.

- Los puentes de interconexión y los latiguillos en los armarios de distribución, no deben pasar de los 6m.

- Se contempla como 3m la longitud de los latiguillos desde la roseta de la pared hasta la zona de trabajo (PC, etc). Esta distancia podría llegar a ser mayor siempre y cuando la longitud total entre los extremos finales del segmento de la red no exceda los 100m (aun en este caso, no se recomienda que estos latiguillos excedan de 6m).

- Se toma 10m como la longitud máxima total de los latiguillos y los puentes de interconexión, en un mismo canal horizontal.

Otras consideraciones

Además de las propiedades eléctricas de los cables, hay que tener en cuenta otras consideraciones constructivas de los mismos, que aunque no afectan a las prestaciones de la red, si pueden tener impacto en el cumplimiento de normativas locales. Estas propiedades son:

- Capacidad de autoextinción de los materiales en caso de incendio.

- Emisión de gases tóxicos en caso de incendio o al final de la vida útil.

- Rigidez mecánica del revestimiento.

- Resistencia la luz ultravioleta.

- Resistencia condiciones ambientales.

- Capacidad de transporte de corriente para el caso de Power over *Ethernet*.

Estas propiedades pueden dar lugar a gran diversidad de precios en los cables aunque estos tengan prestaciones similares en cuanto a calidad de transporte de la señal. A continuación algunos ejemplos de texto. ■

Tabla B7. Ejemplos de cables *Ethernet*

Construcción	Fabricante	Nombre comercial	Material del revestimiento	Frecuencia de operación	Coste/m. aprox. 6 Km.
Standard (UTP)	Nexans	HiperNET	FR PVC	100MHz	0,45 €
Standard (UTP) sin halógenos, bajo humo y retardardor de fuego	Brand Rex	MilleniuM Series	LSZH	100MHz	0,70 €
Apantallado (FTP) pantalla de lámina	Nexans	HiperNET	FR PVC	100MHz	0,78 €
Apantallado (FTP) sin halógenos, bajo humo y retardador de fuego	Brand Rex	MilleniuM Series	LSHZ	100MHz	1,02 €
Apantallado (STP) apantallamiento de lámina y malla	Brand Rex	MilleniuM Series	FR PVC	100MHz	1,26 €

13. EFM *(ETHERNET IN THE FIRST MILE)*

La norma IEEE 802.3ah abarca los elementos técnicos clave necesarios para desplegar servicios de Ethernet de banda ancha para entornos de negocio y residenciales en la última milla del acceso.

Por extensión, EFM puede también considerarse como una alternativa de conectividad en los hogares. Desde la perspectiva del acceso, los principales objetivos que se intentan lograr con EFM son los de reducción de costes, simplicidad de red, eficiencia basada en paquetes, ancho de banda, escalamiento y aprovisionamiento. Estos objetivos también son aplicables a las aplicaciones EFM como tecnología de conectividad.

EFM considera velocidades desde los 2 Mb/s hasta 1 Gb/s, en función de las variantes en el medio físico que a continuación se describirán. La normativa IEEE 802.3ah comprende también un apartado de OAM *(Operación, Administración y Gestión)* pensada para poder hacer pruebas de los bucles de acceso y poder así separar fuentes de problemas entre los Nodos de Acceso y las Centrales de Conmutación por un lado y el equipo de abonado por otro.

13.1. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

EFM se centra en tres topologías: cobre punto a punto, fibra punto a punto y fibra punto a multipunto; asimismo contempla como característica novedosa la especificación para el intercambio de información OAM entre los transceptores *Ethernet*.

a) Topología de Cobre Punto a Punto:

Se contemplan a su vez dos tipos de cables de cobre, uno el 2BASE-TL (cable voz de larga distancia), con los que se pueden alcanzar velocidades de 5696 Kb/s, y el otro el 10PASS-TS (cable de voz de corta distancia), con los que se pueden alcanzar velocidades de 100 Mb/s. Velocidades utilizadas como parámetros típicos de referencia son 10 Mb/s cubriendo 750 metros (corta distancia) y 2 Mb/s cubriendo 2 km (larga distancia)

b) Topología de Fibra Punto a Punto:

Se contemplan a su vez dos familias de fibras punto a punto, la 100BASE-BX10, 100BASE-LX10, sobre la que se pueden alcanzar 100 Mb/s, y la 1000BASE-PX10, 1000BASE-PX20, sobre las que se puede alcanzar 1 Gb/s

c) Topología de Fibra Punto a MultiPunto:

Sobre una estructura EPON se puede alcanzar 1 Gb/s cubriendo hasta 10 km con fibras 1000BASE-PX10 y cubriendo hasta 20 km con fibras 1000BASE-PX20

Para las aplicación relevante para este estudio, el de tecnologías de interconectividad, solo tiene sentido la primera de las topologías (suponiendo que la calidad del cobre desplegado o a desplegar en la casa cumpla con los tipos mencionados arriba)

13.2. POSICIONAMIENTO DE SUMINISTRADORES Y EXPECTATIVAS ECONÓMICAS DE LOS DISPOSITIVOS

El periodo de aprobación del estándar quedará aclarado a lo largo de este año (presumiblemente en Septiembre), pasándose después a la siguiente etapa de asimilación y adaptación por parte de los fabricantes, con lo cual los primeros productos se esperan que estén listos en la segunda mitad de 2005, con una previsión de economía en torno a los 220 Euros.

Los principales actores contribuyentes al desarrollo del estándar IEEE 802.3ah son: *Cisco Systems, Intel, Infineon, y Alcatel* quien tiene la responsabilidad editorial para las soluciones basadas en pares de Cobre, si como las *start-ups Worldwide Packets, Dominet y Alloptic* .

Otros actores importantes que han anunciado su predisposición a suministar soluciones y productos EFM son *Nortel Networks, Extreme Networks y Lucent.*

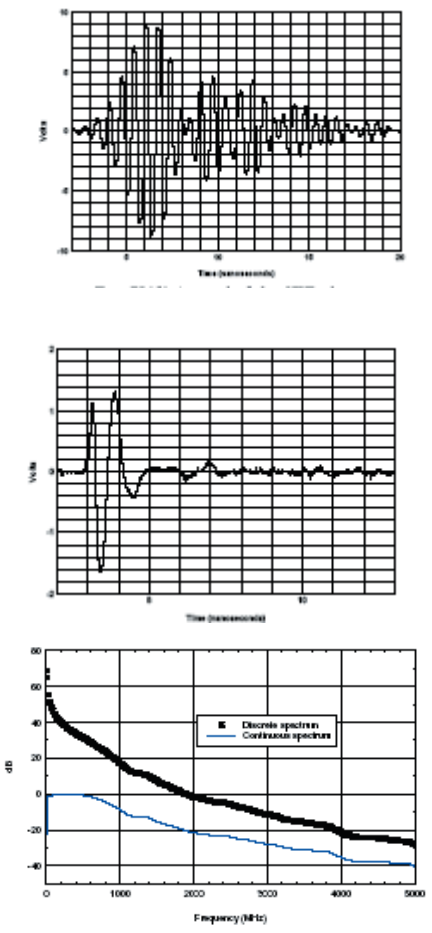
Otras compañias especializadas en componentes con participación relevante son *Agilent* y *Finisair* ■

14. UWB *(ULTRA WIDEBAND)*

UWB es una tecnología radio adecuada para la transmisión de datos a gran velocidad sobre un espectro amplio de frecuencias, a baja potencia y sin necesidad de visión directa entre transmisor y receptor para establecer la comunicación. En lugar de las señales tradicionales sinusoidales, las señales transmitidas son impulsos de muy corta duración (de ahí que ocupe un espectro de frecuencias muy grande y su nombre, *ultra wide band)*. Las figuras ilustran el perfil típico de los impulsos UWB en el dominio del tiempo y su correspondiente contribución en el dominio de las frecuencias.

El enlace UWB permite atravesar objetos, paredes y suelos (debido a la energía asociada a las frecuencias bajas), así como utilizarse en aplicaciones de localización con precisiones muy elevadas (inferiores al cm, dada la corta duración de los impulsos).

Figura B33. Estructura de la señal UWB de impulsos



Las aplicaciones comerciales de UWB recibieron un fuerte impulso cuando el FCC, después de muchas consultas, medidas y estudios de compatibilidad con los dispositivos, sistemas y aplicaciones existentes de radiofrecuencia, dispuso el espectro de frecuencias de 3.1GHz a 10.6 GHz para el uso comercial de dispositivos UWB sujeto a límites importantes en cuanto a niveles de potencia (densidad de energía espectral de -41 dBm/MHz), lo que conlleva como consecuencia distancias de cobertura bastante limitadas y su ubicación como tecnología para redes inalámbricas personales (WPANs).

Otros usos de UWB radican en sistemas de radares, vigilancia y sensores.

Las emisiones de los transmisores UWB individuales quedan por debajo de los límites de emisión electromagnética que exigen los distintos organismos internacionales para los equipos inalámbricos, apareciendo estas señales como ruido de fondo para los mismos. Por esta razón y en principio los operadores UWB no deberán solicitar licencia para poder ofrecer los servicios, aunque quedan pendientes mas análisis para poder determinar la influencia que pudiera derivarse de la agregación de contribuciones provenienetes de varios sistemas UWB que operasen simultáneamente en el mismo escenario.

La norma IEEE 802.15.3a, dedicada a definir un suplemento de mejora para las tasas de transmisión en el dominio WPAN al objeto de acomodar aplicaciones de imagen y multimedia, está en curso de definir una capa física basada en UWB. En este momento esta definición esta congelada habida cuenta de que existen dos alternativas UWB suficientemente distintas candidatas a este PHY pero no se han encontrado argumentos suficientemente relevantes que permitan el decantarse por alguna de las dos. Uno de los inconvenientes prácticos para continuar progresando y deshacer esta dualidad es la existencia de tan solo prototipos de cada alternativa, que son insuficientes para poder establecer una campaña de evaluación suficientemente representativa de las bondades de cada una de ellas. El calendario previsto incluye una reunión en Mayo de 2004 para intentar llegar a un status de convergencia entre estas dos variantes.

UWB permite concebir sistemas wireless para aplicaciones que requieran gran ancho de banda y cierta Calidad de Servicio (QoS), como es el caso del streaming de audio y vídeo; además es bastante adecuada para zonas de

densidad elevada y movilidad reducida (por ejemplo para descarga de ficheros o streaming de vídeo en una reunión o en la oficina).

Entre la propiedades mas importantes cabe destacar su inmunidad frente a efectos de cancelación multicamino, su baja probabilidad de detección (debido a las cotas tan bajas de densidad de energía transmitida) y la posibilidad de realizar implementaciones sencillas de dispositivos con objetivos de coste muy interesantes (al poderse realizar implementaciones completas quasi-digitales).

Características Técnicas

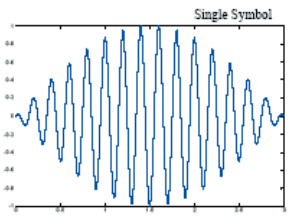
Los requerimientos definidos en IEEE 802.16.3a contemplan la exigencia de transmitir al menos 100 Mb/s a 10 metros de distancia con una tasa de error de paquete del 8% para tramas de 1024 octetos. Se exige adicionalmente la transmisión de 200 Mb/s a 4 metros. Las aplicaciones explicitadas incluyen la conexión de periféricos wireless participantes en sesiones de videoconferencia, dispositivos wireless constitutivos de Home Theater, descargas de contenidos de naturaleza multimedia, etc.

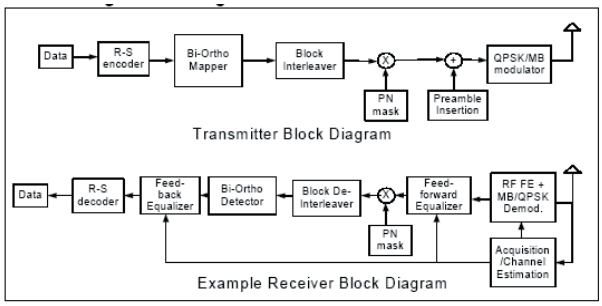
La capa física debe ser capaz de coexistir con otros dispositivos wireless que puedan encontrarse en la proximidad. Se cita explicitamente a *Bluetooth* (802.15.1), WiFi (802.11), 802.15.3, Zigbee (802.15.4), *WiMax* (802.16) y teléfonos cordless ISM.

La norma definida debe ser tal que posibilite consumos de potencia inferiores a los 100 mW para 110 Mb/s y menos de 250 mW para 200 Mb/s (independiente de si es entidad transmisora o receptora). Se requiere asimismo un estado de ahorro de potencia.

En cuanto a complejidad y coste se cita a *Bluetooth* como referencia para exigir niveles de complejidad y objetivos de coste comparables.

Figura B34. Arquitectura de transceptor de referencia para UWB





De las 2 variantes de capa física bajo consideración en IEEE 802.15.3a para aplicaciones WPAN, existe un grupo de compañías lideradas por Intel que incluye a *Philips, Time Domain, Dicrete Time, General Atomics, Wisair y Focused Instruments* que basan su propuesta en la variante UWB denominada multibanda. Este concepto divide los 7.5 GHz establecidos por el FCC en 13 (7 + 6) bandas separadas de mas de 500 MHz cada una permitiendo a los dispositivos seleccionar (estáticamente o dinámicamente) en que bandas operan. Los valores de frecuencia central correspondientes son [3.6, 4.15, 4.7, 5.25, 5.8, 6.35, 6.9] GHz para el primer bloque y de [7.45, 8, 8.55, 9.1, 9.65 y 10.2] GHz para el segundo bloque. Esta filosofía multibanda permite acomodar requerimientos diversos de tasa de transmisión, combatir fuentes de interferencias ya identificadas [por ejemplo 5.25-5.8 GHz para ISM (*WiFi, WiMax*, etc.)] así como acomodarse a la disponibilidad de espectro en diferentes países. Adicionalmente, los datos pueden modularse mas flexiblemente haciendo uso de la concatenación de bandas.

La Figura B34 muestra el perfil de un símbolo (3 nseg con perfil de coseno rectificado que ocupa una banda de 700 Mhz a 10 dB,) y la arquitectura de sistema de este modelo, que hace uso de una modulación MBOK (M-ary Binary Orthogonal Keying)+ QPSK y una codificación *Reed-Solomon*.

Para la organización de acceso múltiple, la opción propone una estructura DS/FH CDMA con FDM opcional. DS CDMA permite la utilización de códigos PN únicos por usuario, FH CDMA permite la distinción de cada una de las 7 bandas, numeradas (0…,6) y FDM permite la coordinación de varias piconets (picoredes) en implementaciones complejas.

El sistema físico así definido permite el envío de mas de 100 Mb/s a mas de 10 metros, cumpliendo así el requerimiento definido por IEEE 802.15.3a ■